



Т. Байерс

20 КОНСТРУКЦИЙ
С СОЛНЕЧНЫМИ
ЭЛЕМЕНТАМИ

Перевод с английского
С. В. СИДОРОВА
под редакцией
д-ра техн. наук
М. М. КОЛУНА

Scan Pirat



Москва «Мир» 1988

20 Selected Solar Projects
Making Photovoltaics Work For You

T. J. Byers

Micro Text Publications, Inc.
Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs,
New Jersey 07632
1984

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора перевода	5
Предисловие	6
Глава 1. Использование солнечных элементов	8
Глава 2. Тестер для проверки солнечных элементов	18
Глава 3. Дозиметр солнечной радиации	28
Глава 4. Вентилятор для чердака	35
Глава 5. Водяной фонтан	43
Глава 6. Регулятор заряда аккумуляторных батарей	48
Глава 7. Лампа аварийного освещения	61
Глава 8. Освещение приусадебного участка	67
Глава 9. Стимулятор роста растений	77
Глава 10. Фонарик с подзаряженными аккумуляторами	83
Глава 11. Охранная сигнализация	92
Глава 12. Робот	100
Глава 13. Сигнальный фонарик	112
Глава 14. Электрическая изгородь	118
Глава 15. Лодка с электроприводом	124
Глава 16. Фотофон	133
Глава 17. Устройство слежения за солнцем	140
Глава 18. Солнечные часы	151
Глава 19. Гелиостат	160
Глава 20. Музыкальная шкатулка	173
Глава 21. Блок управления мощностью	180
Глава 22. Принцип работы солнечных элементов	189
Приложение. Список отечественных аналогов зарубежных полупроводниковых приборов и микросхем, используемых в книге	196

ББК 31.252
Б 18
УДК 621.383

Байерс Т.

Б 18 20 конструкций с солнечными элементами: Пер. с англ.—
М.: Мир, 1988.— 197 с., ил.
ISBN 5—03—000407—6

В книге американского специалиста описаны разнообразные устройства, позволяющие обеспечить использование энергии солнечных батарей в быту. Основное внимание уделено конкретным конструкциям для освещения и вентиляции помещений, управления потоками воды в фонтанах, зарядки аккумуляторов, стимуляции роста растений, электропитания музыкальных инструментов и т. п.

Для читателей, увлекающихся самостоятельным техническим творчеством

Б 2403000000-048 178-88, ч. 1
041 (01)-88

ББК 31.252

Редакция литературы по информатике и робототехнике

ISBN 5—03—000407—6 (русск.)
ISBN 0—13—934779—8 (англ.)

© 1984 by Micro Text Publication, Inc.
© перевод на русский язык, «Мир», 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Книга, которую вы держите в руках, представляет собой краткое, но чрезвычайно полезное руководство по применению солнечных элементов в технике и быту.

В распоряжении советского читателя имеется несколько отечественных и зарубежных, переведенных на русский язык, книг, раскрывающих физические принципы работы солнечных элементов, представляющих основы теории и эксперимента в этой области науки и помогающих проектировать, конструировать, испытывать солнечные батареи (в основном космического назначения).

До сих пор в нашей литературе отсутствовала книга, в ясной и занимательной форме раскрывающая те разнообразные и интересные практические применения, которые нашли для солнечных элементов и батарей любознательные любители новых электронных и полупроводниковых приборов. Не было книги о самодельных устройствах, изготовленных руками умельцев и доступных для воспроизведения в домашней, школьной или студенческой лаборатории. Такая книга была бы особенно полезной в связи с тем, что малогабаритные солнечные батареи для транзисторных радиоприемников и других бытовых электроприборов уже продаются в магазинах радиоаппаратуры.

Предлагаемая книга несомненно восполняет этот пробел. Она невелика по объему, и при этом значительную часть ее занимают рисунки, схемы и фотографии, что позволяет наглядно показать конструкцию и внешний вид каждого из описанных устройств.

Автор справедливо отмечает, что собранные в книге проекты самодельных устройств носят не только образовательный характер. Эти устройства полезны также для отдыха и развлечения. Что же они собой представляют? Их назначение и даже размеры различаются весьма значительно. Здесь и системы энергопитания для лодок с мотором, и датчики освещенности, работающие от небольших солнечных батарей, и вентиляторы, и водяные фонтаны, и охранные устройства, и музыкальные шкатулки. В книге описаны также солнечные элементы — стимуляторы роста растений.

Автор уделяет внимание мелочам, важным в самостоятельной работе: выбору цвета защитной коробки, типа и мощности сигнальных ламп, подбору прочных и быстро действующих клеев, удобному монтажу печатных плат. Каждая из самоделок имеет оригинальную электронную схему, подробно описанную в книге.

При переводе книги мы постарались привести отечественные эквиваленты электронных приборов, используемых в приводимых в тексте схемах.

Книга написана живым, разговорным языком, стиль которого мы старались сохранить.

Мы надеемся, что данная книга окажется полезной и интересной не только для специалистов, но и для широких кругов читателей, привлечет внимание молодых радиолюбителей и инженеров-конструкторов к новой для них области самодеятельного творчества.

М. М. Колтун

ПОСВЯЩЕНИЕ

Эта книга посвящается нашей старшей дочери Шерри Даниэльс и ее семье.

БЛАГОДАРНОСТИ

Хочу выразить благодарность Твиле Байерс, Чарли Гею, и Гари Занс-течеру за техническую помощь при подготовке этой книги. Иллюстрации выполнены Вильямом Джилло и Джеймсом Форсом.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Появление в начале 50-х гг. солнечных элементов, разработанных в лаборатории Белла, произвело революцию в электронной промышленности. Без сомнения, космическая индустрия была бы без них практически бесполезна. Легкие солнечные генераторы энергии позволили совершенно по-иному подойти к проблеме создания искусственных спутников Земли.

В последние годы солнечная электрическая энергия пришла и на Землю. Никому не кажется необычным повсеместное использование солнечной энергии, например, в солнечных домах. В солнечном доме живет и автор этой книги. Настала эпоха солнечной энергетики, и необходимо отдавать себе отчет в ее возможностях.

В этой книге раскрывается понятие фотоэлектрического преобразования: получение электрической энергии из солнечного света. Но это отнюдь не лекции о достоинствах солнечной энергии, ее возможности будут продемонстрированы на примере конкретных конструкций.

В этой книге вы найдете и простые, и сложные конструкции. Некоторые, такие, как робот, предназначены только для развлечения, в то время как другие имеют полезное практическое применение. Каждая конструкция характеризуется особым способом использования солнечной энергии. Например, одно из предлагаемых устройств можно использовать для поддержания батареи в заряженном состоянии, другое — как солнечный источник питания. Независимо от применения солнечное излучение является первичным генератором энергии для всех этих устройств.

Проекты конструкций подразделяются на четыре основные категории. Наиболее забавные из них — конструкции-сувениры. Всех их нельзя считать бесполезными (часть из них полезна, часть — нет), но все они доставляют удовольствие при изготовлении и во время игры.

Целая четверть книги посвящена тестовому оборудованию и системам контроля. С помощью этих приборов контролируют и улучшают энергоотдачу солнечных генераторов. Без использования этого оборудования солнечные элементы были бы гораздо менее эффективны.

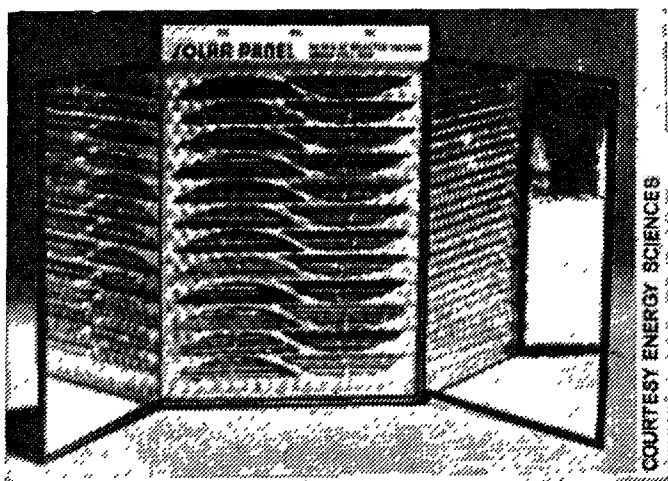
Оставшаяся часть книги содержит описание множества мощных и мало-мощных устройств. Это реально полезная часть книги.

Нужен вам вентилятор для мансарды? Вы получите его, и при том работающим от солнечной энергии. А зарядное устройство для вашей лодки? Пожалуйста. Соответственно вашим интересам здесь собрано двадцать конструкций, каждая была тщательно спроектирована, изготовлена и проверена.

В общем, вы найдете, что эта книга представляет собой наиболее разнообразную коллекцию устройств, в которых используется солнечная энергия, когда-либо собранную в одном месте.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Добро пожаловать в мир фотоэлектричества, в мир электроэнергии, получаемой от солнца. Если читатель до сих пор не был знаком с фотоэлектричеством, то он получит истинное удовольствие и будет вознагражден за это знакомство.



Эта книга посвящена исключительно использованию и приложениям кремниевых солнечных элементов. Независимо от того, где будет применено устройство, солнечные элементы являются его составной частью и интересны сами по себе. Таким образом, важно понять их природу и научиться ими пользоваться.

В данной главе нет ничего сложного. Мы только собираемся поговорить о «винтиках и гаечках». Теория солнечного элемента будет рассмотрена в последней главе.

Основные принципы работы

Принцип работы солнечного элемента достаточно прост и заключается в следующем.

При освещении кремниевый солнечный элемент генерирует электрическое напряжение величиной 0,5 В. Независимо от типа и схемы

включения *все* (большие и малые) кремниевые солнечные элементы генерируют напряжение 0,5 В.

По-иному обстоит дело с выходным током элемента. Он зависит от *интенсивности света* и *размера* элемента, под которым подразумевается площадь поверхности. Ясно, что элемент площадью $10 \times 10 \text{ см}^2$ в 4 раза превосходит элемент площадью $5 \times 5 \text{ см}^2$, следовательно, он выдает в 4 раза больший ток.

Сила тока зависит также от длины волны света и его интенсивности, причем она прямо пропорциональна интенсивности излучения. Чем ярче свет, тем больший ток генерируется солнечным элементом.

Увеличение выходных характеристик солнечных элементов

Солнечные элементы использовались бы очень редко, если бы эксплуатировались в пределах упомянутых параметров. Лишь в некоторых случаях требуется такое низкое напряжение (0,5 В) при произвольных требованиях к величине потребляемого тока.



Рис. 1

К счастью, здесь нет ограничений. Солнечные элементы можно соединять последовательно и параллельно с целью увеличения выходных характеристик.

Будем рассматривать солнечные элементы как обычные батарейки. Известно, что для увеличения яркости фонаря используют несколько батареек. В сущности, при последовательном включении батареек увеличивается полное напряжение (рис. 1).

То же самое можно проделать с солнечными элементами. Соединяя положительный вывод одного элемента с отрицательным выводом другого, от двух элементов можно получить напряжение величиной 1 В. Подобным образом три элемента дадут 1,5 В, четыре — 2 В и т. д. Теоретически напряжение, развиваемое последовательно соединенными солнечными элементами, при условии, что имеется достаточное их количество, может достичь тысячи вольт!

К сожалению, с точки зрения увеличения выходного тока последовательное соединение обладает присущим ему недостатком. При последовательном соединении элементов питания выходной ток не превосходит уровня, характерного для худшего элемента в цепи. Это справедливо для всех источников питания независимо от того, являются ли они батареей, блоком питания или солнечными элементами.

Это означает, что при любом числе 2-амперных солнечных элементов в цепи 1-амперный элемент будет определять величину полного выходного тока, т. е. 1 А. Следовательно, если вы стремитесь достичь максимальных характеристик, необходимо согласовать токи *всех* элементов цепи.

Хорошо, с напряжением все ясно. Но как увеличить выходной ток солнечного элемента? Ведь солнце светит с определенной яркостью.

Выходной ток зависит от площади поверхности элемента, и поэтому естественный путь повышения тока — это увеличение площади элемента (или элементов). Элементов? Именно!

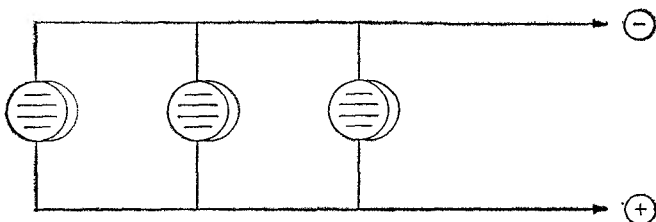


Рис. 2

Если взять четыре элемента размером $5 \times 5 \text{ см}^2$ каждый и соединить их *параллельно*, как показано на рис. 2, то можно достичь такого же результата, как при замене четырех элементов одним размером $10 \times 10 \text{ см}^2$ (в обоих случаях площадь поверхности одинакова и составляет 100 см^2).

Необходимо усвоить, что при параллельном соединении увеличивается лишь величина тока, а не напряжения. Независимо от количества параллельно соединенных элементов (4 или 50) генерируемое напряжение составит не более 0,5 В.

Фотоэлектрические батареи

Можно догадаться, о чем пойдет речь. Действительно, чтобы использовать преимущества обоих способов включения, можно комбинировать последовательное и параллельное соединение элементов. Подобная комбинация называется *батареей*.

Батарей можно составлять в любой желаемой комбинации. Простейшей батареей является цепочка из последовательно включенных элементов. Можно также соединить параллельно цепочки элементов, отдельные элементы в цепочках или сочетать их в любой другой комбинации. На рис. 3 представлены лишь три примера из возможных комбинаций.

Различия в характере соединений элементов на рис. 3, хотя все они обладают одинаковыми выходными характеристиками, продикто-

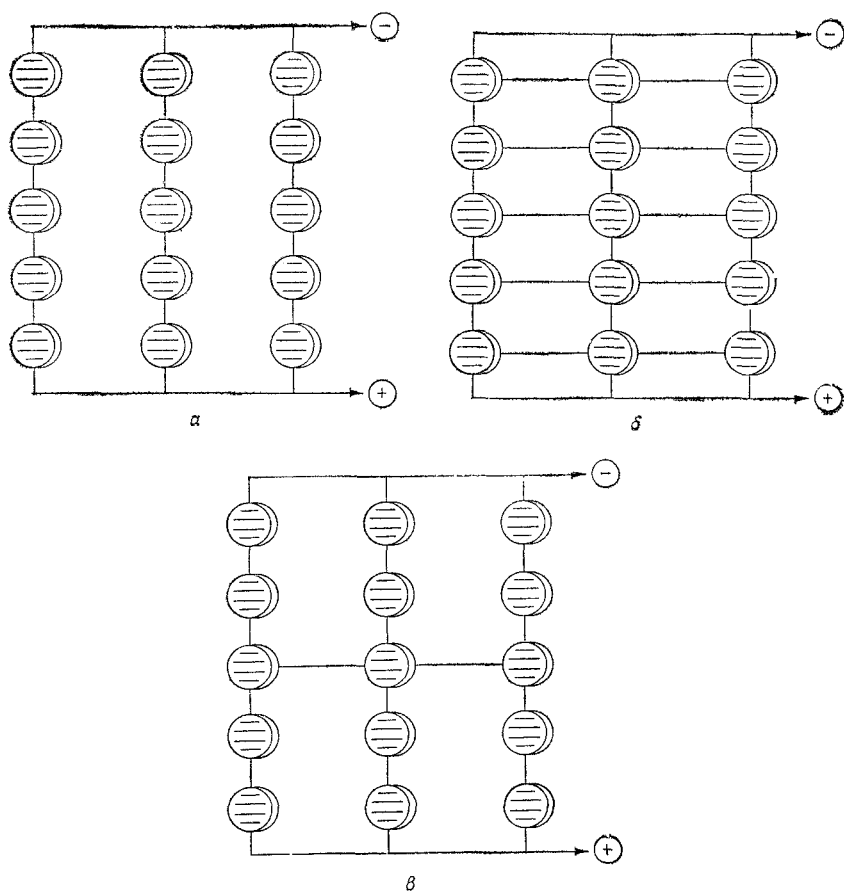


Рис. 3

ваны различными требованиями к надежности. На рис. 3, *а* три последовательные цепочки элементов соединены параллельно. Такой способ используется, когда высока вероятность короткого замыкания отдельных элементов.

На рис. 3, *б* представлена схема параллельно-последовательного соединения элементов. При таком соединении выход из строя одного из элементов, например, из-за появления трещины, не приводит к потере целой цепочки вследствие разрыва цепи. В последнем примере (рис. 3, *в*) приняты во внимание оба случая с минимумом соединений.

Возможны и другие типы соединений, и их выбор должен определяться конкретными условиями работы вашего устройства.

Следует помнить одно важное условие. Независимо от полета вашей фантазии параллельно подключаемые цепочки из элементов обязательно должны соответствовать друг другу по напряжению. Нельзя параллельно соединять цепочку из 15 элементов и короткую цепочку из 5 элементов. При таком соединении батарея не будет работать.

Обратное смещение

При работе с солнечными батареями, как правило, сталкиваются с явлением, не имеющим места при использовании обычных источников питания. Это явление связано с так называемым *обратным смещением*. Чтобы понять, что это такое, обратимся к рис. 4.

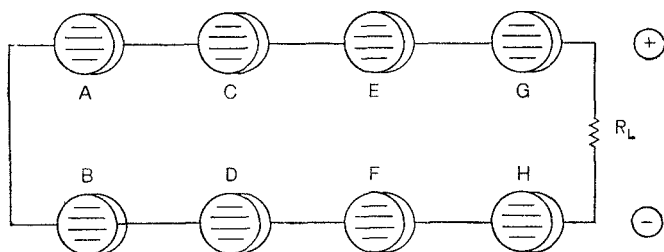


Рис. 4

На этом рисунке изображены 8 последовательно соединенных элементов. Полное выходное напряжение цепочки составляет 4 В, а в качестве нагрузки подключен резистор R_L . Пока все хорошо.

Но давайте затемним фотоэлемент D непрозрачным предметом, например рукой, и посмотрим, что произойдет. Вероятно, вы думаете, что напряжение упадет до 3,5 В, не так ли? Ничего подобного!

Солнечный элемент, который не производит электрической энергии, представляет собой звено с большим внутренним сопротивлением, а не короткую. Происходит то же, что и при размыкании выключателя, но этот выключатель разомкнут не полностью — через него протекает небольшой ток.

В большинстве случаев эффективное сопротивление затемненного солнечного элемента во много раз больше величины нагрузочного резистора R_L . Поэтому практически можно рассматривать R_L как кусок проволоки, соединяющий отрицательный и положительный выводы.

Это означает, что функцию нагрузки *выполняет* теперь элемент D . Что же делают остальные элементы? Снабжают энергией эту нагрузку!

В результате элемент D разогревается и при достаточно сильном разогреве может выйти из строя (взорваться). В итоге у нас остается

батарея из последовательной цепочки с одним бездействующим элементом — незавидная ситуация.

Эффективный путь решения этой проблемы — параллельное подключение шунтирующих диодов ко всем элементам, как это показано на рис. 5. Диоды подключены так, что при работе солнечного элемента они обратны смещены напряжением самого элемента. Поэтому через диод ток не протекает, и батарея функционирует нормально.

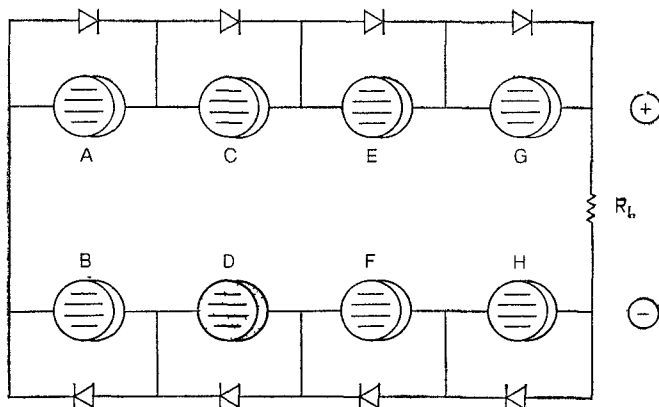


Рис. 5

Предположим теперь, что один из элементов затеняется. При этом диод оказывается прямо смещенным и через него протекает в нагрузку ток в обход неисправного элемента. Конечно, выходное напряжение всей цепочки уменьшится на 0,5 В, но устранится источник саморазрушающей силы.

Дополнительное преимущество состоит в том, что батарея продолжает нормально функционировать. Без шунтирующих диодов она бы полностью вышла из строя.

На практике нецелесообразно шунтировать каждый элемент батареи. Необходимо руководствоваться соображениями экономии и использовать шунтирующие диоды, исходя из разумного компромисса между надежностью и стоимостью.

Как правило, один диод используют для защиты 1/4 батареи. Таким образом, на всю батарею требуется всего 4 диода. В этом случае эффект затенения будет приводить к 25%-ному (вполне допустимому) снижению выходной мощности.

Резка элементов на части

Не всегда серийные элементы в точности соответствуют вашему замыслу. Хотя вам пытаются предложить возможно больший выбор, нет способа удовлетворить все запросы.

К счастью, этого и не требуется. Монокристаллическим солнечным элементам можно придать любую желаемую форму.

Что это обстоит именно так, вам следует знать, ибо монокристаллические солнечные элементы изготовлены из большого монокристалла.

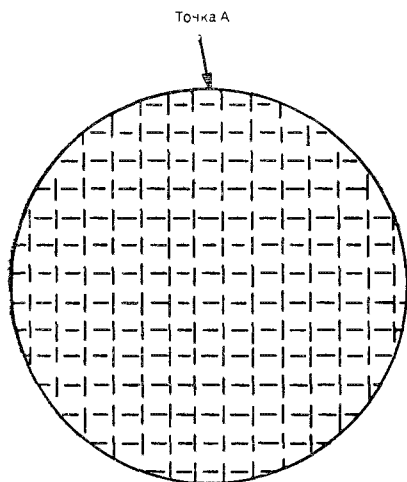


Рис. 6

Атом кремния имеет четыре валентных электрона и образует кубическую кристаллическую решетку. На рис. 6 представлен типичный круглый солнечный элемент с выделенной зернистой структурой.

Если приложить усилие к этой структуре из сильно связанных электронов, то вдоль дефектной линии появится трещина. Это очень похоже на трещину, возникающую в результате землетрясения. Структура кристалла известна, и, следовательно, направление трещины можно предсказать.

Если усилие приложено к краю изображенной на рис. 6 пластины в точке А, то механические силы, действующие внутри кристалла, расколют его на две

половины. Теперь вместо одного элемента имеются два.

Скажем, необходимо расколоть такой элемент на четыре одинаковые части. Этого можно достичь, приложив усилие сначала вдоль вертикальной дефектной линии, а затем вдоль горизонтальной.

К счастью, это можно проделать одновременно. Большинство монокристаллических круглых элементов помечено крестиком в центре. Если нажать в этой точке ножом с крестообразным наконечником, элемент расколется на четыре аккуратные части.

Не страшно, если вы не попадете точно по центру. Элемент расколется, но не на равные части. Размеры осколков будут определяться точкой приложения усилия, но все они будут расколоты вдоль одинаковых плоскостей.

Линии скола всегда параллельны друг другу, и все пересечения происходят под прямым углом. Руководствуясь этими правилами, можно получить элементы любых необходимых размеров.

Пытаясь в первый раз расколоть элемент, необходимо быть предельно осторожным: нельзя работать на твердой поверхности. Прилагая большое усилие к элементу, лежащему на твердой плоской поверхности, можно лишь проделать в нем отверстие.

Для создания механического напряжения необходимо, чтобы

элемент прогнулся. Я установил, что пары листов бумаги (можно газетной) достаточно при расколе элемента.

Расколоть таким образом можно только монокристаллические элементы. Недавно появившиеся поликристаллические элементы (wacker cells) расколоть симметрично не удастся. Если попытаться сделать это, солнечный элемент разлетится на миллион осколков.

Поликристаллический элемент легко отличить от монокристаллического. Монокристалл в результате обработки имеет ровную, гладкую структуру поверхности. Поликристалл выглядит как оцинкованная сталь с ее характерным видом поверхности.

Пайка солнечных элементов

После того как солнечные элементы подобраны для работы, необходимо их спаять. Обычно в нашем распоряжении имеются серийные солнечные элементы, снабженные токосъемными сетками и *тыльными* контактами, которые предназначены для припайки к ним проводников.

При изготовлении контакты чаще всего покрываются припоем, содержащим небольшое количество серебра. Серебро предохраняет жало паяльника от разрушения и возможной *адгезии* тонких металлических контактов при пайке. Помните, что токосъемные сетки также хрупки, как металлические проводники печатных плат.

Изготовители солнечных элементов обычно используют особые припой, флюс и проводники для соединений. Припой, содержащий 2 % серебра, всегда можно приобрести в магазине. Вместо канифоли необходимо использовать обычный флюс на водной основе, чтобы его легко можно было смыть с поверхности элемента после пайки.

Труднее всего найти плоский, ленточный проводник, так как он редко бывает в продаже. Тем не менее можно изготовить нечто похожее, если взять медную проволоку и расплющить ее конец молотком. Вместо нее можно использовать медную фольгу или просто тонкую медную проволоку.

Сам процесс пайки несложен, но его необходимо выполнять быстро. Пластина кремния является очень хорошим теплоотводом, и если касаться паяльником элемента длительное время, жало паяльника остынет ниже температуры плавления припоя.

Сначала необходимо залудить проволоку, используя немного большее количество припоя, чем обычно, но не слишком. Солнечный элемент уже залужен при изготовлении.

Для работы рекомендуется использовать паяльник мощностью 30 или 40 Вт. Жало паяльника должно быть чистым и прогретым. Пока паяльник греется, на элемент наносится флюс и залуженная проволока прижимается к основанию контакта элемента. Теперь прикасаются горячим паяльником к поверхности проволоки. Необходимо, чтобы соединение «обволоклось» расплавленным припоем

и обеспечился надежный контакт проволоки с элементом. Пайка выполняется за одно касание: работать надо быстро, но аккуратно.

Тыльный контакт припаивается аналогично. Для получения последовательной цепочки элементов лицевой контакт первого элемента соединяется проводом с тыльным контактом второго. Затем другим отрезком провода соединяют лицевой контакт второго с тыльным третьего и т. д.

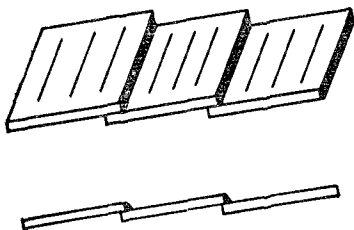


Рис. 7

Лицевой контакт является отрицательным электродом, в то время как тыльный — положительным.

Другим широко распространенным способом является соединение элементов по типу черепичной крыши. Если вы когда-либо видели черепичную крышу, вы уже поняли идею.

Лицевой контакт одного элемента накрывается сверху тыльным контактом другого. Место касания прогревается паяльником, и таким образом два элемента соединяются друг с другом. Такое соединение показано на рис. 7.

Необходимо набрать на жало некоторое избыточное количество припоя, чтобы надежно спаять элементы. Будьте осторожны и не перегрейте элемент, иначе контакта вообще не будет.

Таким способом лучше паять небольшие элементы, у которых можно одновременно прогреть всю область контакта. Лучше всего пользоваться специальным прямоугольным наконечником для паяльника, предназначенным для выпайки интегральных микросхем из печатных плат. Равномерные нагрев и давление явятся залогом успеха.

Защита батареи

Теперь, когда батарея собрана, необходимо предохранить ее от механических повреждений и воздействия погодных условий.

Лучше всего поместить элементы лицевой поверхностью на чистый лист стекла или оргстекла. Предпочтительнее использовать защитное стекло, затем, в порядке убывания защитных свойств, идут упрочненное оконное стекло, акриловый пластик и обычное оконное стекло. Прозрачное покрытие предохраняет батарею от механических повреждений при ударах и скручивании, изгибах. Но оно плохо защищает от влаги.

Как известно, кремний слегка гигроскопичен; это означает, что он впитывает совсем немного воды. Однако после длительного периода времени наблюдается постепенное снижение выходных характеристик элемента, обусловленное влиянием влажности. Таким обра-

зом, срок службы батарей непосредственно зависит от качества влагоизоляции.

Влагоизоляцию можно обеспечить многими способами. В соответствии с одним из них тыльную сторону можно залить жидкой резиной. Для этого необходимо сделать рамку по периметру защитного стекла, чтобы жидкий полимер не перелился через край. Кроме того, прочная рамка хорошо предохраняет защитное стекло от бокового удара.

Согласно другому методу, тыльную сторону батарей покрывают толстым листом майларового пластика и нагревают всю батарею, например с помощью лампы накаливания, до расплавления майлара и его сцепления с передней защитной крышкой. Эта операция требует определенного навыка, особенно в случае больших батарей. Заднюю майларовую крышку можно просто приклеить. Часто упомянутая операция проще нагрева, но при этом ухудшаются изоляционные свойства.

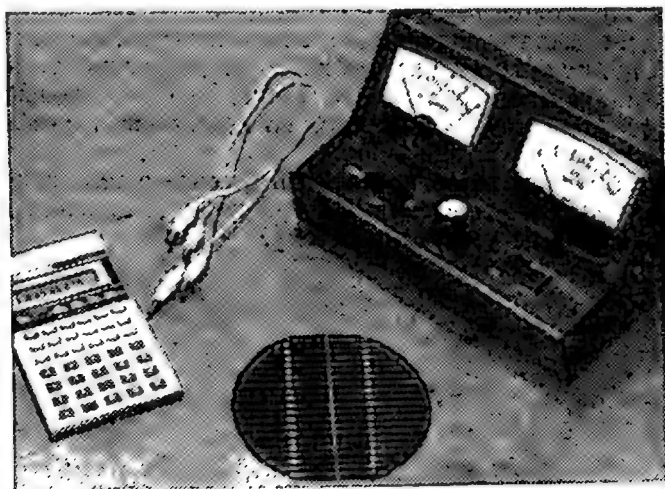
Наконец, тыльную сторону элементов батареи можно покрыть несколькими слоями латекса. Это выглядит не так эстетично, но обеспечивает достаточно хорошие влагоизоляционные свойства.

Последним способом по порядку, но не по значимости является изготовление влагонепроницаемой герметично изолированной коробки для элементов. Это дорого, но обеспечивает необходимую влагоизоляцию.

Можно было бы долго продолжать рассказ о том, как пользоваться солнечными элементами. Но почему бы читателю не перевернуть страницу и не узнать это самому?

ТЕСТЕР ДЛЯ ПРОВЕРКИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Использовать солнечные элементы можно так же, как любой другой источник питания. Каждый из них предназначен для поддержания определенной силы тока при заданном напряжении. Тем не менее в отличие от обычных источников питания выходные характеристики солнечного элемента зависят от количества падающего света. Например, набежавшее облако может снизить выходную мощность более чем на 50 %.



Более того, не все элементы выдают одинаковую мощность при одинаковых условиях освещенности, даже если элементы идентичны по размерам и конструкции. Отклонения в технологических режимах могут повлечь за собой заметный разброс выходных токов элементов одной партии. Эти факторы необходимо учитывать при разработке и изготовлении конструкций с солнечными элементами.

Следовательно, если желают обеспечить максимальную отдачу от фотоэлектрических преобразователей, необходимо проверить все элементы. Чтобы лучше понять, какие параметры подлежат проверке, сначала рассмотрим характеристики кремниевого солнечного элемента.

Характеристика фотоэлектрического преобразователя

Всякий раз при работе с любым источником питания необходимо представлять себе, какова связь между собой напряжения и тока, а также зависимость их от нагрузки. В большинстве случаев взаи-

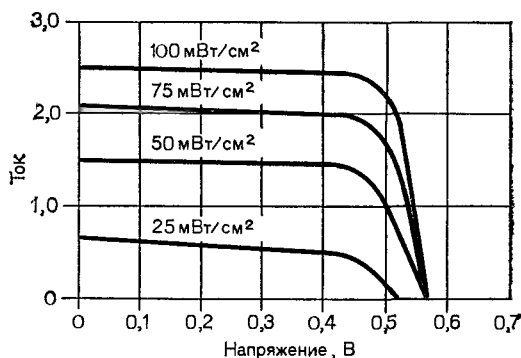


Рис. 1

100 мВт/см² соответствуют энергетической освещенности, создаваемой прямым потоком солнечного излучения на поверхности земли на уровне моря в полдень при ясном небе; 75 мВт/см² соответствуют 3/4; 50 мВт/см² — 1/2; 25 мВт/см² — 1/4 этой освещенности.

мосвязь определяется законом Ома. К сожалению, кремниевые солнечные элементы являются нелинейными устройствами и их поведение нельзя описать простой формулой. Вместо нее для объяснения характеристик элемента можно пользоваться семейством простых для понимания кривых (рис. 1).

Исследовать вольтамперные характеристики (рис. 1) можно более детально с помощью схемы, представленной на рис. 2. В схеме измеряются выходные напряжения и ток, протекающий через переменную резистивную нагрузку. Будем предполагать, что интенсивность света в процессе измерения остается постоянной.

Сначала с помощью потенциометра установим максимальное значение сопротивления. При этом фактически в цепи нет никакого тока и результирующее выходное напряжение можно считать равным *напряжению холостого хода*, представляющему собой напряжение, которое генерирует элемент, когда к нему не подключено никакой нагрузки. Оно составляет около 600 мВ (0,6 В). Величина этого напряжения может слегка изменяться при переходе от одного элемента к другому в одной партии и от одной фирмы-изготовителя к другой.

При уменьшении сопротивления резистора элемент все более нагружается. Как и в случае обычной батарейки питания, это вызывает возрастание потребляемого тока. Одновременно выходное напряжение слегка падает, как это и должно произойти с нестабили-

зированным источником питания. Пока в этом нет ничего удивительного.

Затем происходит нечто странное. Достигается такое положение, когда с уменьшением сопротивления нагрузки выходной ток более не увеличивается. Ничто не может привести к увеличению тока — даже короткое замыкание. На практике этот ток вполне справедливо называют *током короткого замыкания*.

В сущности, солнечный генератор стал источником постоянного тока. Возникает вопрос: что же с напряжением? Напряжение будет постоянно уменьшаться пропорционально возрастанию нагрузки.

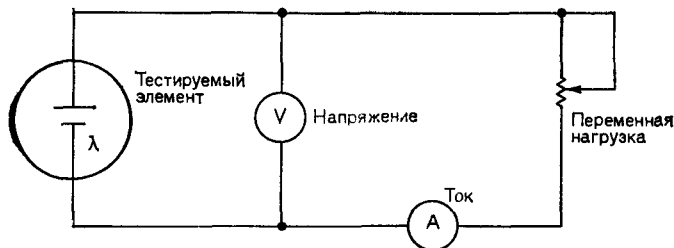


Рис. 2

Как только сопротивление нагрузки станет равным нулю, напряжение упадет до нуля. Кстати, короткое замыкание фотоэлектрического преобразователя не приводит к выходу его из строя.

Сила тока, которую может развить элемент, зависит от интенсивности света. Для первого измерения мы произвольно выбрали самый высокий уровень облученности, которому соответствует верхняя кривая (рис. 1). Каждая следующая кривая была получена на том же элементе при постепенном снижении интенсивности света.

Кривая мощности

Если необходимо построить график зависимости выходной мощности от напряжения, то в результате можно было бы получить нечто подобное изображенному на рис. 3. На одном конце графика имеется максимальный ток при нулевом напряжении. Конечно, никакой мощности в этой точке не выделяется из-за отсутствия напряжения. На другом конце графика имеется максимальное напряжение при нулевом токе, в результате чего мощность также не выделяется.

Между этими двумя пределами при работе фотоэлектрического преобразователя в нагрузке выделяется мощность, причем *пиковая* мощность выделяется лишь в одной точке. Именно в ней совокупность всех факторов обеспечивает отбор наибольшей энергии от солнечного элемента. Пиковая мощность соответствует напряжению около

450 мВ (0,45 В), что случайно совпало с перегибом кривой тока, показанной на рис. 1.

То, что семейство кривых тока имеет одинаковую форму, означает, что мы всегда получим максимальную мощность при одном и том же напряжении независимо от яркости солнца. Конечно, фактическая мощность будет зависеть от интенсивности солнечного излучения в данное время, однако пиковая мощность будет наблюдаться

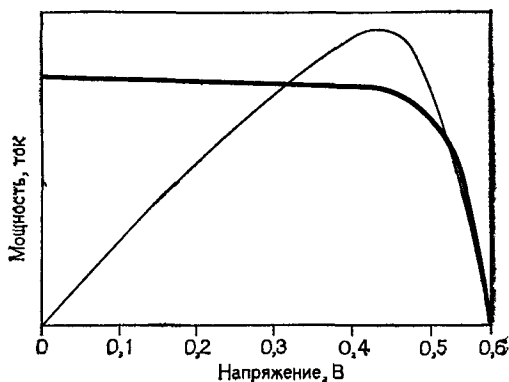


Рис. 3

при одном и том же напряжении. Таким образом, чтобы правильно оценить качество кремниевого солнечного элемента, необходимо нагрузить его так, чтобы выходное напряжение равнялось 0,45 В, а затем измерить выходную мощность. Этот метод эффективен не только для сравнения элементов между собой в одинаковых условиях, но и для оценки качества отдельного элемента.

Разработка схемы тестера

Как уже было сказано, для тестирования солнечных элементов можно использовать схему, изображенную на рис. 2. Кстати, это быстрый и простой способ, в соответствии с которым после подключения элемента в указанную схему требуется всего лишь выставить соответствующее напряжение с помощью потенциометра и снять показания приборов, измеряющих напряжение и ток. Перемножив напряжение и ток, можно получить величину мощности.

Однако все элементы слегка различаются, и, следовательно, сопротивления, соответствующие пиковой мощности отдельных элементов, будут также различными. И в соответствии с этим необходимо каждый раз изменять сопротивление нагрузки, чтобы восстановить требуемое рабочее напряжение. Кроме того, энергия, выраба-

тываемая солнечным элементом, полностью рассеивается на потенциометре, обуславливая его нагрев и нестабильность.

Коренным решением данной проблемы была бы замена нагрузочного резистора в схеме. Что может быть лучше транзистора? Это прекрасная замена. В данном конкретном применении транзистор можно рассматривать как динамическое сопротивление.

Небольшой ток базы транзистора, задаваемый как показано на рис. 4, вызывает значительное изменение тока коллектора. Ток базы фактически изменяет сопротивление транзистора, которое в свою очередь используется в качестве нагрузки для солнечного элемента.

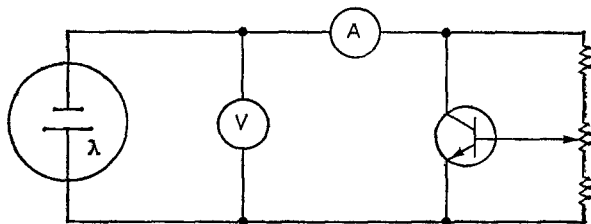


Рис. 4

К сожалению, транзистор обладает тем же недостатком, что и потенциометр, т. е. необходимостью подстройки базового тока при смене тестируемого элемента. Такая операция незатруднительна при небольшом количестве элементов, но предположим, что вам необходимо проверить 30, 40 или больше элементов. Это отнимет слишком много времени.

Неплохо было бы найти способ автоматически подстраивать базовый ток без необходимости установки его каждый раз вручную. Было бы весьма желательно иметь параллельный стабилизатор напряжения.

Параллельный стабилизатор напряжения представляет собой регулятор, охваченный петлей обратной связи, использующей входное напряжение для управления током базы. Независимо от первоначального напряжения на входе параллельный стабилизатор изменяет свое шунтирующее сопротивление так, чтобы выходное напряжение поддерживалось на требуемом уровне.

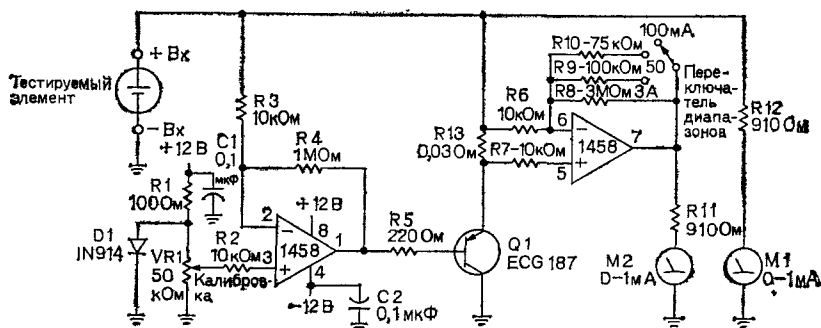
Принцип работы схемы

В результате мы приходим к схеме, представленной на рис. 5, в которой для регулирования базового тока транзистора используется операционный усилитель. Резистор сопротивлением 220 Ом служит для ограничения тока базы.

Регулятор сравнивает входное напряжение, поступающее от фотоэлектрического преобразователя, с опорным напряжением,

Обычно в качестве источника опорного напряжения используется схема на стабилитроне. Однако в нашем случае потребовался бы стабилитрон с предельно низким напряжением стабилизации, желательнее ниже 1 В. К сожалению, стабилитроны на такие напряжения либо весьма чувствительны к изменению температуры, либо дороги (обычно и то и другое вместе).

С другой стороны, *прямосмещенный* кремниевый диод может служить прекрасным низковольтным источником опорного напряжения.



Примечание: сопротивление 0,03 Ом изготавливается из медного провода № 30 длиной 10 см

Рис. 5

Диод $D1$, прямое смещение на котором задано резистором $R1$, определяет диапазон напряжений регулятора, ограничивая напряжение на регулировочном резисторе $VR1$ «калибровка». Опорное напряжение с движка этого потенциометра подается на неинвертирующий вход усилителя.

На инвертирующий вход усилителя через резистор $R3$ подается напряжение фотоэлектрического преобразователя. Резистором $R4$ задается величина коэффициента усиления операционного усилителя (в данном случае она составляет 100).

Благодаря своей особенности операционный усилитель пытается выравнять напряжение на своих инвертирующем и неинвертирующем входах, управляя током, текущим через шунтирующий регулировочный транзистор $Q1$. Транзистор снижает входное напряжение до такой величины, что оно становится равным напряжению на отводе резистора $VR1$. Это напряжение может регулироваться в пределах 0—0,7 В.

Тем не менее реально транзистор не может иметь нулевого сопротивления, которое требуется, чтобы снизить напряжение до нуля. Как бы вы ни старались, на транзисторе сохранится небольшое остаточное напряжение величиной около 150 мВ. Это ограничивает диапазон регулирования в пределах 0,15—0,7 В.

Контрольные приборы

Измерение напряжения на солнечном элементе осуществляется вольтметром $M1$, а тока, протекающего через шунтирующий транзистор, — амперметром $M2$. Мощность (в ваттах) определяется перемножением показаний обоих приборов.

Вольтметр подключается непосредственно к элементу. Он представляет собой щитовой прибор, рассчитанный на ток 1 мА, с последовательным ограничивающим резистором $R12$, который позволяет индцировать 1 В при отклонении на полную шкалу.

С другой стороны, для измерения тока вместе с амперметром $M2$ используется операционный усилитель. Схема построена так, что ток эмиттера транзистора $Q1$ должен протекать через резистор $R13$. Этот ток соответствует току, генерированному солнечным элементом.

При протекании тока на резисторе $R13$ создается небольшое падение напряжения. Оно усиливается дифференциальным усилителем, напряжение на инвертирующий и неинвертирующий входы которого подается через резисторы $R6$ и $R7$ соответственно.

Величина коэффициента усиления контролируется резисторами $R8$ — $R10$. Резистор $R8$ постоянно подключен между выходом и инвертирующим входом. Его сопротивление составляет 3 МОм, а соответствующее значение коэффициента усиления — 300. Когда через резистор $R13$ протекает ток, равный 100 мА, выходное напряжение усилителя составляет 1 В.

Выходное напряжение дифференциального усилителя измеряется вольтметром, идентичным вольтметру $M1$. Этот прибор отградуирован в единицах тока. В нашем случае напряжению 1 В соответствует ток 100 мА.

При подключении параллельно резистору $R8$ резистора $R10$ коэффициент усиления уменьшается до 60. В этом случае напряжению 1 В на выходе усилителя соответствует ток 500 мА, протекающий через $R13$. Таким образом мы расширили диапазон измеряемых токов, охватывающий значения 100—500 мА. Аналогично при параллельном подключении резистора $R9$ к резистору $R8$ можно измерять токи в диапазоне 0—3 А.

Конструкция тестера

Хотя тестер для проверки солнечных элементов можно изготовить любым способом, настоятельно рекомендую использовать печатный монтаж. Печатная плата показана на рис. 6.

Детали схемы разместите согласно рис. 7 и припаяйте их, соблюдая полярность включения полупроводников. Обратите внимание на то, что шунтирующий транзистор $Q1$ расположен на фольгированной стороне платы. Транзистор необходимо осторожно привинтить

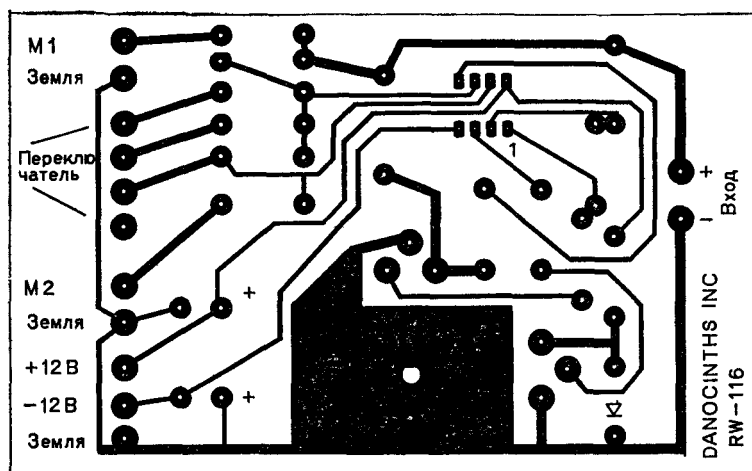


Рис. 6

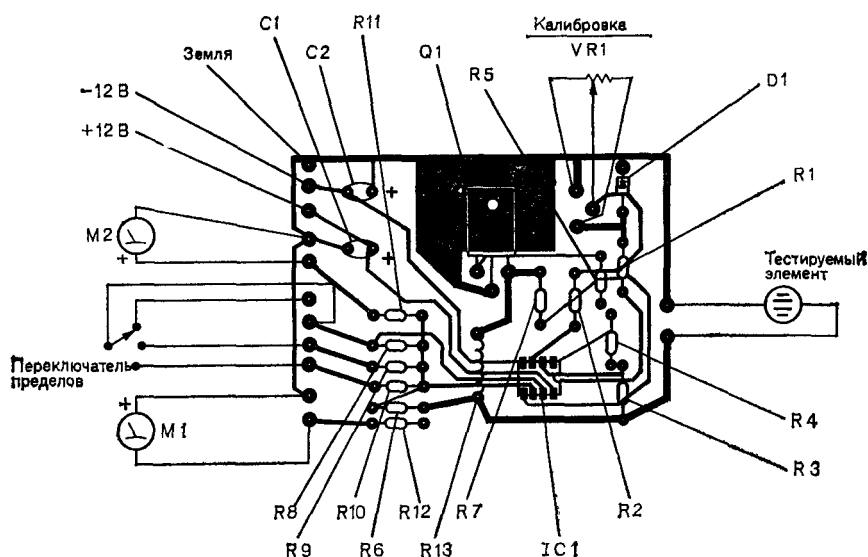


Рис. 7

к большой медной площадке, выполняющей роль теплоотвода. При этом изолировать корпус транзистора не требуется.

Идеально резисторы R6 и R7 должны образовать согласованную пару. Однако точные резисторы дороги и их трудно приобрести. Поэтому я рекомендую взять небольшую группу резисторов номиналом 10 кОм и промерить их с помощью цифрового мультиметра.

Чтобы найти два подходящих друг другу резистора, не потребуется много времени. Оставшиеся компоненты можно использовать в качестве резисторов $R2$ и $R3$.

С другой стороны, резистор $R13$ — не обычный резистор. Я сомневаюсь, что вы сможете найти подобный резистор в обычном магазине. Но его можно изготовить из отрезка проволоки длиной 10 см и диаметром 0,26 мм, которая обычно используется для обмоток. Намотайте проволоку на каркас (карандаш), чтобы полученная катушка точно разместилась на плате.

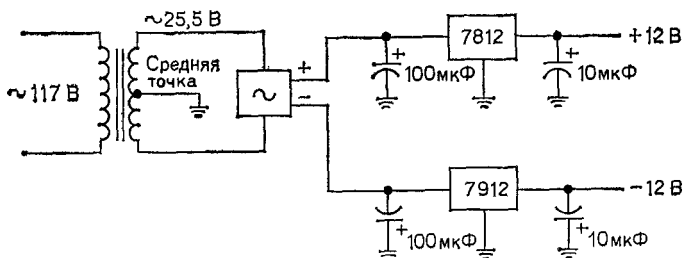


Рис. 8

От точности подбора величины резистора $R13$ зависит точность измерения тока. С целью повышения точности можно начать с отрезка проволоки чуть длиннее 10 см и укорачивать его, контролируя величину тока по амперметру $M2$.

Два измерительных прибора, регулятор «калибровка» и переключатель диапазонов, размещаются вместе с печатной платой в любом подходящем корпусе. Соединяя эти компоненты, необходимо соблюдать полярность.

Для подачи питания прибора необходимы два 12-вольтных источника с выводами положительной и отрицательной полярности и общим заземленным проводом. Тип источников питания и величина напряжений не критичны. При желании питание тестера можно осуществить с помощью двух 9-вольтных батарей для транзисторных приемников. Схема одного из возможных источников питания показана на рис. 8.

Вероятно, сложнее всего найти или изготовить держатель с контактным устройством для солнечных элементов. Здесь необходимо самому проявить некоторую фантазию. Плоская алюминиевая пластинка размером чуть больше самого элемента может служить хорошим электродом, обеспечивающим соединение с тыльным контактом элемента, в то время как щуп от вольт-омметра будет прекрасным контактом к лицевой стороне солнечного элемента. Для автоматизации тестирования, возможно, потребуется купить или изготовить особый зажим. Как я уже сказал, потребуется немного воображения и понимания того, что конкретно необходимо.

Работа с тестером

Пользоваться тестером очень просто. Надо подключить элемент к схеме, осветить его и снять показания. Тыльный контакт элемента является положительным электродом и подсоединяется к положительному входу тестера. Токосъемная сетка на лицевой поверхности элемента является отрицательным электродом и присоединяется к заземленному выводу тестера.

Необходимо обеспечить надежный контакт с электродами элемента. Поскольку мы имеем дело с достаточно малым напряжением, даже небольшое сопротивление контактов может привести к значительной разнице в показаниях. Для обеспечения надежного соединения необходимо, чтобы контакты достаточно хорошо прижимались к элементу. Тем не менее следует избегать избыточного давления, так как элементы весьма тонкие, хрупкие и легко ломаются! Вот где пригодится хорошо продуманное контактное устройство для элементов.

Регулятором «калибровка» устанавливают рабочее напряжение, при котором производится измерение мощности. Оно обычно устанавливается один раз на уровне 450 мВ. Тем не менее при необходимости величину рабочего напряжения можно изменить. Короче говоря, при наличии тестера можно не гадать о параметрах элементов, а измерить их.

Список деталей

Резисторы

R1 — 100 Ом
R2, R3 — 100 кОм
R4 — 1 МОм
R5 — 220 Ом
R6, R7 — 10 кОм (см. текст)
R8 — 3 МОм
R9 — 100 кОм
R10 — 750 кОм
R11, R12 — 910 Ом
R13 — 0,033 Ом (см. текст)

Конденсаторы

C1, C2 — 0,1 мкФ, 50 В

Полупроводники

IC1 — 1458
Q1 — ECG187
D1 — 1N914

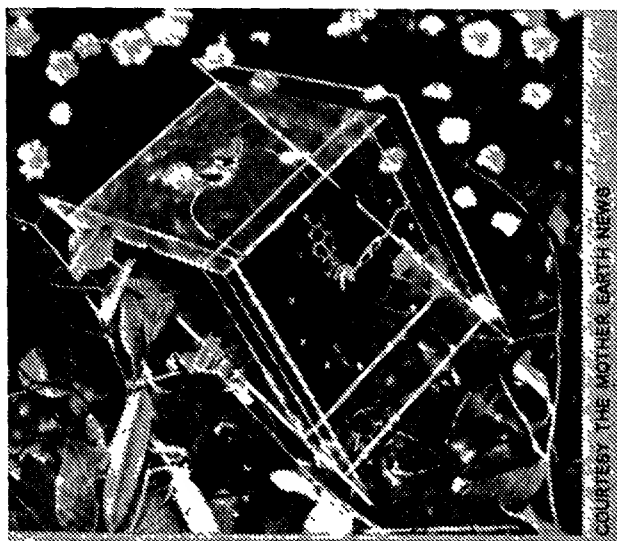
Остальные детали

M1, M2 — щитовые стрелочные приборы с диапазоном измерений 0—1 мА
S1 — переключатель на одно направление на три положения
VR1 — 50 кОм, потенциометр
Держатель солнечного элемента
Корпус

Протравленная печатная плата с высверленными отверстиями для тестера для солнечных элементов поставляется корпорацией Danocinths, Inc., P. O. Box 261, Westland, MI 48185 по цене 12 долл. плюс 1,5 долл. за заказ и пересылку. Спецификационный номер RW116

ДОЗИМЕТР СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

При создании любых конструкций, использующих солнечную энергию, необходимо знать полное количество солнечного света, пригодного для фотоэлектрического преобразования. Хотя энергия солнечного излучения в определенные моменты времени может быть велика, редко удастся установить по этим мгновенным значениям характер солнечного излучения в течение суток. Для этого необходимо усреднить значение солнечной энергии за длительный период времени.



Количество попадающего на освещаемую поверхность потенциально полезного солнечного излучения определяется понятием, именуемым *инсоляцией*. Солнечная инсоляция сильно изменяется от одной точки земной поверхности к другой. Пустыни Нью-Мехико получают значительно больше солнечного света, чем Чикаго или Сан-Франциско. При нахождении величины инсоляции какого-либо района необходимо учитывать несколько факторов.

Длительность солнечного облучения (в часах)

Для учета всех факторов, влияющих на изменение используемой солнечной энергии, необходимо ввести единицу измерения, совершенно отличную от тех, которыми мы пользовались до сих пор. Наиболее эффективной является *длительность солнечного облучения*, т. е. время полезного использования солнечной энергии (в часах). Словосочетание «полезное использование» будет нередко употребляться и в дальнейшем.

Измерить *длительность солнечного облучения* довольно просто. По существу все, что необходимо сделать,— это подсчитать количество часов за день, в течение которых светит солнце, т. е. количество полезных для использования часов. На наше измерение будут влиять несколько факторов.

Влияние времени года

Несомненно, наиболее важным фактором является угол падения солнечного света на поверхность Земли. При вращении Земли вокруг Солнца ее ось не перпендикулярна направлению на Солнце, а наклонена к нему под углом около 23° . Фактически слегка наклонены оси вращения 5 из 9 планет Солнечной системы.

Следовательно, солнечные лучи падают на Землю не точно перпендикулярно к экватору. Вместо этого точка перпендикулярного падения перемещается в течение года то севернее, то южнее экватора. Этот эффект отражается в смене времен года.

Когда Северный полюс отклонен от Солнца, как показано на рис. 1, Солнце освещает области вращающегося земного шара значительно южнее экватора; для тех, кто живет в Северном полушарии, Солнце проходит по небу низко над горизонтом.

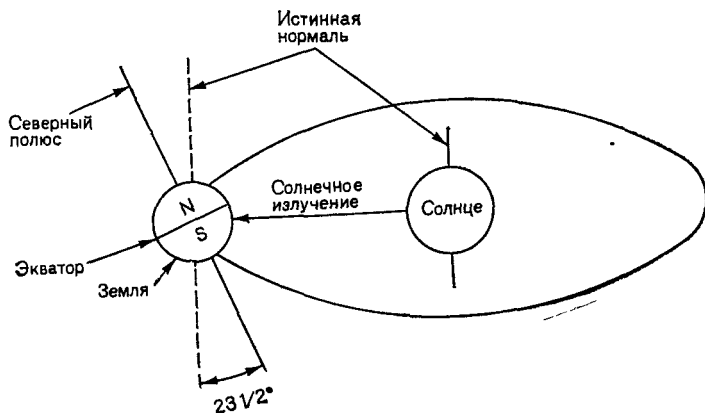


Рис. 1

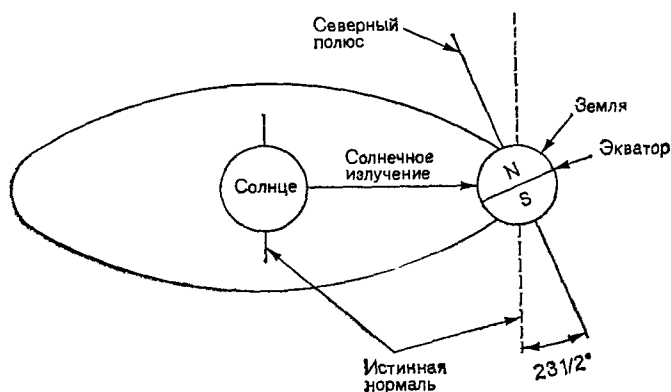


Рис. 2

В результате этого дни становятся короткими. Чем короче дни, тем меньше энергии поступает от Солнца, и наступает зима.

С вращением Земли вокруг Солнца Северный полюс постепенно поворачивается к Солнцу. Весной взаимное расположение Земли и Солнца таково, что солнечная энергия падает непосредственно на экватор.

Тем временем Земля продолжает свое движение вокруг Солнца. Когда она проходит половину орбиты, Северный полюс поворачивается в сторону Солнца (рис. 2). Это позволяет солнечной радиации концентрировать свою энергию севернее экватора.

Дни становятся длиннее, и Земля получает возможность поглощать и запасать большее количество поступающей солнечной энергии. Для нас увеличение инсоляции ощущается как наступление лета. Разница между длительностью летнего и зимнего дня для большей части континентальной территории Соединенных Штатов Америки составляет 6 ч (рис. 3).

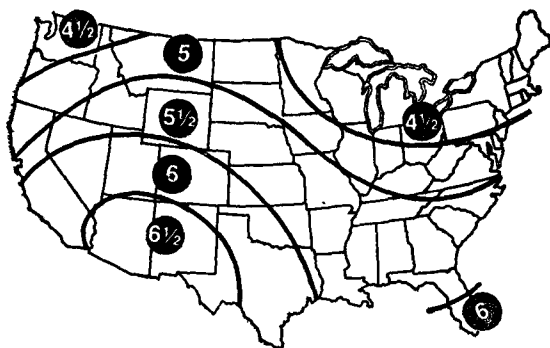


Рис. 3

Земля продолжает свое путешествие, проходит полный цикл и снова приходит в начальную точку. Затем сезонный и солнечный циклы начинаются снова.

Конечно, для живущих в Южном полушарии сезоны будут совершенно противоположны нашим. Когда мы мерзнем от холода зимой, они греются на солнце в течение долгих летних дней.

Местные погодные условия

Изменение высоты подъема солнца над горизонтом в течение года можно точно предсказать и легко учесть. С другой стороны, местные погодные условия также заметно влияют на солнечную инсоляцию, но их труднее предсказать.

Больше всего на погоду влияют облака. Пусть даже не полностью закрывая солнце, они могут значительно ослабить прохождение солнечного света. В зависимости от типа облачности интенсивность солнечного излучения может уменьшаться на 20—50 %.

Особую проблему представляет разнообразие формы и размеров облаков. Легкие, перистые облака лишь незначительно снижают количество солнечного света, достигающего земной поверхности. Следовательно, ими можно в какой-то степени пренебречь. С другой стороны, плотные, кучевые облака пропускают очень мало света. Если в облачном покрове имеются разрывы, солнце будет то появляться, то вновь пропадать. Следовательно, необходимо оценить количество солнечного света, проникающего через облачный покров. Достаточно ли его для фотоэлектрического преобразования? Или освещенность слишком мала?

Чтобы все это точно учесть, необходимо определить нижний предельный уровень света, еще целесообразный для фотоэлектрического преобразования. Расчет ведется, если интенсивность света превышает этот уровень. В противном случае расчет прекращается.

Туман, дождь или мгла также вносят свои поправки. Фактически погода — единственная в своем роде переменная условий окружающей среды. Участки местности, находящиеся на расстоянии всего лишь 50 км друг от друга, могут иметь совершенно различные условия инсоляции.

Характер местности, освещаемой солнцем

В заключение необходимо рассмотреть рельеф местности. Предположим, что имеется большой холм, загораживающий солнце до 10 ч утра. Таким образом, если даже восход солнца происходит в 7 ч утра, мы не сможем воспользоваться его энергией, пока оно не покажется над вершиной холма. По существу теряются 3 ч, потенциально пригодные для использования.

Заходящее солнце ставит перед нами еще одну проблему, так как вполне вероятно, что вершины деревьев загородят его лучи в 4 ч дня. Хотя это, может быть, и не мешает вечернему отдыху на прохладной веранде, но наверняка снизит количество используемой солнечной энергии.

И хотя закат может быть восхитительным, лучи закатного солнца далеко не так энергичны, как нам бы хотелось. Совокупность нескольких факторов сужает границы наибольшей продуктивности солнечного излучения в интервале приблизительно от 10 ч утра до 4 ч дня. При этом необходимо учитывать изменение угла падения солнечных лучей при движении солнца по небосклону в течение дня, если в вашем распоряжении нет устройства слежения за движением Солнца. Солнечные лучи, падающие на освещаемую поверхность под очень малым углом, становятся малопригодными для использования.

Всеми вышеизложенными факторами и определяется общее время *полезного* использования солнечной энергии.

Измеритель инсоляции

В настоящее время достаточно просто сконструировать измеритель солнечной инсоляции, удовлетворяющий указанным выше требованиям. Если мы хотим установить реальную продолжительность временного интервала, в течение которого солнечное освещение полезно применительно к нашим фотоэлектрическим преобразователям, естественно выбрать в качестве датчика излучения кремниевый солнечный элемент.

Для данной конструкции потребуется маломощный источник питания, который генерирует напряжение 1,5 В при токе 3 мА. Его можно изготовить из нескольких небольших элементов, соединенных последовательно по способу, напоминающему укладку черепичной крыши (гл. 1). Затем солнечную батарею следует присоединить к кварцевым механическим часам, потребляющим очень мало энергии. Когда солнечный свет попадет на фотоэлектрический преобразователь, выделяющаяся электрическая энергия приведет часы в движение. Регистрируя промежуток времени за день, в течение которого работали часы, вы получите длительность солнечного облучения за день (в часах).

Чтобы обнаружить разницу в интенсивности солнечного излучения, к солнечной батарее подключается резистор, который играет роль нагрузки солнечных элементов, несколько снижая их напряжение. Пока интенсивность света не превышает определенный уровень, соответствующий уровню полезной работы солнечной батареи, напряжения, развиваемого ею, недостаточно для питания часов и это время не регистрируется.

Конструкция измерителя

Корпус измерителя солнечной инсоляции изготовлен полностью из акрилового пластика, например плексигласа. Я взял лист плексигласа, который иногда используется для создания двойных оконных рам и обычно имеется в продаже. От этого листа следует отрезать два куска размером 10×12 см², один кусок размером 10×10 см² и один кусок размером 14×14 см².

Затем кусок размером 14×14 см² разрежьте по диагонали на два треугольника. Далее в центре пластины размером 10×10 см² просверлите отверстие диаметром 9 мм. Высверливая отверстие в таком термопластичном материале, как акрил, необходимо избегать нагрева сверла, иначе пластик будет плавиться. Эту же предосторожность соблюдайте и при отпиливании пластика. Наилучшего результата можно достичь при небольших скоростях сверления и резания, но при достаточном давлении.

Теперь можно приступать к сборке. Во-первых, необходимо закрепить кварцевые часы с помощью гаек в отверстии диаметром 9 мм на пластине размером 10×10 см². При желании можно снабдить таймер циферблатом от настенных часов (он прижимается соединительными гайками). Для своей модели я просто просверлил по кругу в пластине 12 отверстий для индикации положения стрелок.

Теперь детали склеиваются вместе согласно рис. 4. Хотя предпочтителен акриловый клей, однако можно воспользоваться другим типом клея. Я рекомендую приклеить прямоугольные пластины сначала только к одной треугольной пластине и лишь затем присоединить вторую треугольную пластину. Это позволит точнее совместить детали и избежать размазывания клея.

Затем солнечная батарея укрепляется на листе пластика, расположенном за часами. Легкая солнечная батарея без труда крепится на пластик за токоподводящие проводники, присоединенные

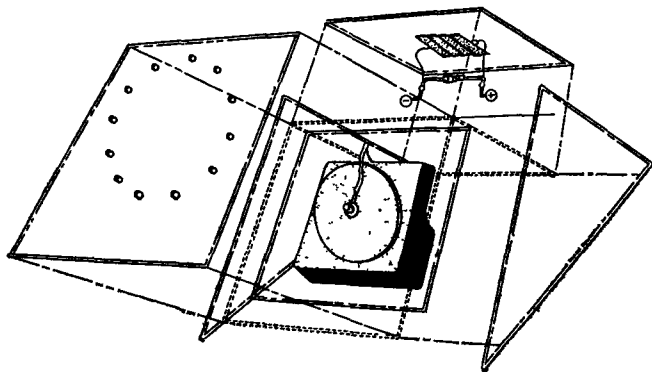


Рис. 4

к контактам элемента, с помощью капелек клея. Необходимо избегать попадания клея на поверхность солнечных элементов.

Необходимо отметить, что проводники не изолированы и никак не помечены. Проводник, идущий с лицевой (светочувствительной) поверхности элемента, соедините с отрицательным (—) контактом питания часов. Другой проводник, идущий с тыльной поверхности, присоединяется к положительному (+) входу питания. Наконец, в качестве нагрузки к выводам солнечной панели припаивается резистор 220 Ом. Теперь конструкция готова к измерениям.

Измерение инсоляции

Прибором можно пользоваться двумя способами. Можно начать хотя бы с того, что установить часы на легкозапоминающееся время (я обычно ставлю на 12 ч) и направить датчик на юг. Азимутальный угол солнечной батареи составляет 45° , что приблизительно соответствует правильной установке для большинства районов США.

Измерения начинаются рано утром, с рассвета. Теперь до самого заката солнца прибор будет фиксировать число часов, в течение которых солнце дает достаточное для использования количество энергии. При этом автоматически учитываются влияние проплывающих облаков и периоды падения лучей под острым углом к поверхности (при которых на батарею падает очень малое количество энергии). В конце дня можно непосредственно снять показание числа полезных солнечных часов за день. Если стрелка показывает на 5, значит, было 5 полезных часов. Вновь установите часы — и они готовы к следующему дню.

С помощью другого метода можно получить совокупное значение инсоляции. Просто отмечаются показания каждый день без перевода часов и подсчитывается полное количество оборотов стрелки в течение измерения. В результате получаются условия инсоляции за длительный период времени.

Можно определить среднее значение длительности солнечного облучения (в часах) несколькими различными способами: за неделю, за сезон, за год. Все зависит от того, какие необходимые данные.

Список деталей

Солнечная батарея поставляется фирмой Edmund Scientific Co., 7785 Edscomp Bldg., Barrington, NJ 08007. Catalog No. 42465

Механические кварцевые часы поставляются фирмой Klockit, Box 629, Lake Geneva, WI 53147. Model Q-70

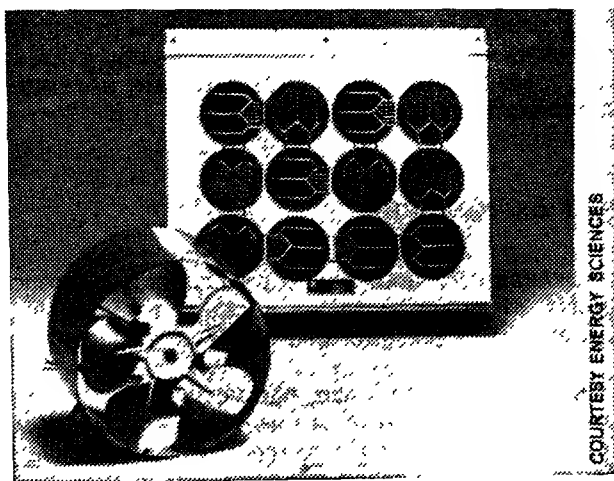
Резистор — 220 Ом, 0,5 Вт

Акриловый пластик (см. текст)

ВЕНТИЛЯТОР ДЛЯ ЧЕРДАКА

Самый простой способ охладить дом — установить в нем кондиционер. Однако он дорог и неэффективен. Значительно дешевле использовать недорогую вентиляционную систему, которая в первую очередь предотвращает перегрев воздуха в помещении и увеличение влажности.

Вентиляционная система должна устанавливаться таким образом, чтобы удалить воздух с чердака. Почему именно с чердака? Потому что он источник всех проблем.



Все начинается рано утром, как только солнце начинает освещать крышу. Не знаю, известно вам или нет, но черепица на крыше довольно эффективно поглощает солнечное излучение. Покрытые битумом крыши особенно хорошо притягивают и сохраняют солнечное тепло.

Затем тепло от крыши передается воздуху, заполняющему чердак. В течение дня все больше и больше тепла поступает в воздушное пространство чердака. Теперь внутри чердака вступает в действие другой механизм. Хорошо известно, что теплый воздух подни-

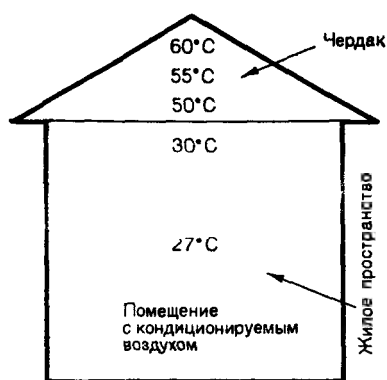


Рис. 1

мается вверх, а холодный опускается вниз. Так как воздух на чердаке не перемешивается, то в доме создается распределение температуры, показанное на рис. 1. Слосное распределение температуры обуславливает накопление тепла. Мы имеем огромный резервуар тепла, которое необходимо использовать.

Во многих домах становится слишком жарко из-за проникновения тепла с чердака. При включении кондиционера вы пытаетесь удалить тепло из жилых помещений, чтобы сделать условия более

комфортными. Однако в то же самое время чердак продолжает нагревать дом. Такое противоборство является дорогостоящим и не приводит к нужным результатам.

Единственный способ остановить этот приток тепла с чердака в жилое помещение — это теплоизолировать дом от чердака. Весьма эффективна теплоизоляция с помощью стекловаты. Слой стекловаты толщиной не более 15 см, устилающий потолок, заметно влияет на количество тепла, проникающего вниз.

Механизмы охлаждения

Однако никакая изоляция не сможет полностью отгородить нижние помещения от проникновения тепла с чердака. Тепло будет проникать в жилые помещения благодаря теплопередаче и излучению.

Чтобы проиллюстрировать это, рассмотрим такой пример. Предположим, что чердак вашего дома имеет размеры 9×12 м (площадь 108 м^2). Если температура на чердаке составляет в среднем 55°C , а вы хотите, чтобы температура в жилом помещении не превышала 27°C , то лучшее, на что можно рассчитывать — это на достижение теплопередачи, не превышающей 2000 Дж/ч . И это в случае совершенной системы изоляции. Для обычного дома с однослойной изоляцией потолка стекловатой проникновение тепла составляет около 4500 Дж/ч .

Опытным путем установлено, что для нейтрализации 9000 Дж тепла кондиционер должен прокачать 1 т воздуха. Таким образом, для устранения влияния нагрева чердака нам потребуется прокачать кондиционером лишние $0,5 \text{ т}$ воздуха!

Однако фактическое количество тепла, проникающего вниз, зависит от разницы температур на чердаке и в доме. Разница температур в 5°C соответствует тысячам джоулей. Следовательно, чем холоднее на чердаке, тем меньше работает кондиционер.

Вентиляция чердака

Как можно охладить чердак? Необходимо просто проветривать его! Весьма редки случаи, когда температура наружного воздуха больше температуры воздуха на чердаке, где обычно жарко, как в печке; можно охладить чердак, заменив горячий, застоявшийся воздух в нем более холодным извне.

Это относительно просто осуществить, прорубив вентиляционное отверстие в крыше около ее гребня и установив в нем вытяжной вентилятор. Вентилятор нагнетает холодный воздух через выступающий карниз крыши и вытягивает из чердака нагретый, застоявшийся воздух через вентиляционное отверстие.

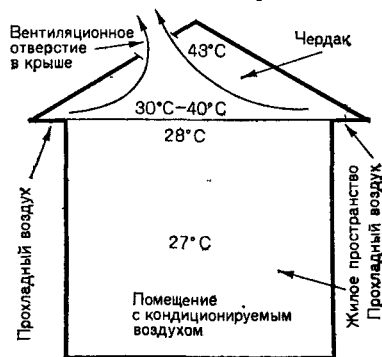


Рис. 2

Такая циркуляция воздуха внутри чердака обуславливает перемешивание горячего и холодного воздуха и устраняет перепады температур (рис. 2). Необходимо отметить, как она повлияла на температуру внутри чердака. Теперь температура распределяется более равномерно, а средняя температура понизилась.

Хочу заметить, что для проветривания чердака не потребуется очень большой вентилятор. Цель будет достигнута, если обмен воздуха на чердаке будет осуществляться примерно каждые 3 мин.

Размер вентилятора определяется размером чердака. Чердак стандартных размеров ($9 \times 12 \text{ м}^2$) имеет объем приблизительно 135 м^3 . Для обмена такого объема воздуха каждые 4 мин требуется вентилятор, который будет откачивать $34 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Если размер чердака меньше, потребуется вентилятор меньшей мощности. Соотношение здесь простое: объем чердака в м^3 делится на желаемое время смены воздуха (в мин) и получается производительность вентилятора. Например $135 \text{ м}^3 / 4 \text{ мин} \approx 34 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Основные элементы вентилятора

Вентилятор приводится в движение небольшим электродвигателем постоянного тока, характеристика которого обычно линейна: чем больше подводимая к нему мощность, тем быстрее он вращается. Известно, что мощность зависит от двух величин: напряжения и

тока. Изменение любой из этих величин вызовет изменение мощности.

Например, мотор напряжением 12 В при силе тока 3 А может вращаться со скоростью 6000 об/мин. Если мы уменьшим подводимую к мотору электрическую энергию снижением напряжения до 6 В, то скорость вращения уменьшится в 2 раза и станет равной 3000 об/мин.

С другой стороны, если в том же моторе на 12 В при 3 А, вращающемся с той же скоростью 6000 об/мин, уменьшить ток в 2 раза, сохранив напряжение на прежнем уровне (12 В при 1,5 А), получится тот же результат: скорость вращения мотора составит 3000 об/мин. Учитывая принцип работы фотоэлектрических преобразователей, понимание причины изменения скорости вращения мотора с изменением потребляемого тока особенно важно.

Объем воздуха, который будут перегонять лопасти вентилятора, прямо пропорционален скорости вращения. Это указывает на возможность регулирования потока воздуха простым изменением скорости вращения мотора.

Солнечная батарея

Несомненно, что для электропитания вытяжного вентилятора можно использовать фотоэлектрические преобразователи. Такой выбор наиболее предпочтителен. Следует заметить при этом, что при подключении фотоэлектрического источника к электромотору вентилятора возникает интересная взаимосвязь.

Фотоэлектрические солнечные элементы обычно можно рассматривать как источники тока. При малой освещенности солнечная батарея генерирует небольшой ток, хотя напряжение остается нормальным. В результате вентилятор (если он вращается) вращается медленно и, следовательно, прокачивает лишь малый объем воздуха.

Это обстоятельство как раз и отвечает задаче проветривания чердака. Утром крыша практически не нагрета, и в это время дня в вентиляции нет необходимости или нужна лишь небольшая вентиляция.

Днем с увеличением солнечной радиации все большая мощность подается на мотор вентилятора от фотоэлектрических преобразователей, и скорость вращения вентилятора возрастает. С увеличением солнечной инсоляции в чердачное помещение поступает все большее количество тепла. Следует отметить, что увеличение скорости вращения вентилятора (обмена воздуха) наблюдается именно тогда, когда в этом есть необходимость.

Ближе к вечеру интенсивность солнечного излучения вновь уменьшается, крыша поглощает меньшее количество тепла и потребность в вентиляции уменьшается. Это согласуется с изменением

выходной мощности фотоэлектрических преобразователей, которые вращают вентилятор с меньшей скоростью.

В результате нами разработана саморегулирующаяся система вентиляции чердака, которая поддерживает его температуру на относительно постоянном уровне. Обычно управление вентилятором в зависимости от нагрева чердака осуществляется механическим термовыключателем.

Конструкция солнечной батареи

Для упомянутых целей были отобраны два имеющихся в продаже серийных вентилятора, разработанные специально для подобных применений. Расположим наши фотоэлектрические источники вблизи вентиляторов. Помните тем не менее, что можно использовать любую подходящую для вас комбинацию мотора и вентилятора.

Первый вентилятор — вытяжной вентилятор фирмы Solarex Согр. Адреса фирм, выпускающих оба вентилятора, можно найти в списке деталей. (Следует отметить, что при этом мы не пытались сравнивать один вентилятор с другим.)

Упомянутый вентилятор вращается электродвигателем постоянного тока напряжением 12 В. Тем не менее для увеличения срока службы фирма Solarex рекомендует питать мотор напряжением 6 В. При подключении к фотоэлектрической батарее, развивающей 6 В при токе 1,2 А, вентилятор будет обеспечивать обмен воздуха со скоростью 10 м³/мин.

Не составит труда разработка батареи мощностью 7 Вт, удовлетворяющей упомянутым требованиям. Сначала необходимо представить себе требуемую максимальную силу тока. Как было упомянуто выше, она соответствует 1,2 А.

Общеизвестно, что круглый солнечный элемент диаметром 7,5 см выдает ток величиной 1,2 А. Фактически можно найти довольно дешевые некондиционные элементы 7,5 см, которые развивают «лишь» 1 А. Эти элементы подходят для упомянутых целей.

Для достижения мощности в 7 Вт при максимальной интенсивности солнечного излучения потребуется 12 элементов. Элементы можно спаять последовательно, расположив их в 3 ряда по 4 элемента в каждом. При изготовлении батареи следуют рекомендациям, изложенным в гл. 1. Если для использования в конструкции выбраны некондиционные элементы на 1 А, то для компенсации их дефектности необходимо увеличить количество элементов в батарее на 2 и довести их число до 14.

Второй вентилятор, который мы рассмотрим, поставляется фирмой Wm. Lamb. Его диаметр составляет 35 см; он снабжен линейным электромотором с шарикоподшипниками. Запрессованные шарикоподшипники продлевают срок службы мотора. Питается мотор лю-

бым напряжением: 6—48 В. Для наших целей фирма-изготовитель рекомендует использовать напряжение 12 В.

Солнечный генератор мощностью 30 Вт будет вращать вентилятор со скоростью, достаточной для обмена воздуха,— около

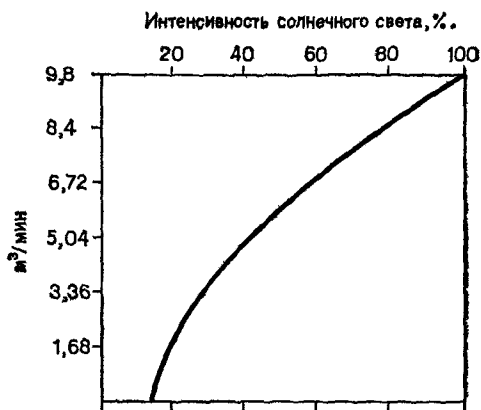


Рис. 3

30 м³/мин, в то время как батарея мощностью 7 Вт обеспечит его энергией, достаточной для обмена воздуха со скоростью 14 м³/мин. На рис. 3 представлена зависимость скорости обмена воздуха от мощности фотоэлектрического преобразователя.

Установка конструкции на крыше

В соответствии с одним из вариантов установки вентиляционного устройства потребуется проделать отверстия в крыше. Поскольку любые работы на крыше сопряжены с риском возможных протечек воды, аккуратность — залог успешного выполнения работы.

Сначала ножовкой пропиливается круглое отверстие в крыше. Оба вентилятора поставляются закрепленными в металлических кожухах, и отверстие в крыше должно точно соответствовать диаметру кожуха. Необходимо убедиться, что место для отверстия выбрано *между* стропилами крыши!

Затем в отверстие устанавливается вентилятор. Теперь металлический отражатель помещается вокруг устройства, и обильно заливаются гудроном все возможные щели во избежание протечек. Для предотвращения попадания дождя через сделанное отверстие вентилятор накрывается колпаком конусообразной или U-образной формы.

Если нет желания делать отверстие в крыше, имеется другой вариант. Вентилятор можно укрепить над одним из вентиляцион-

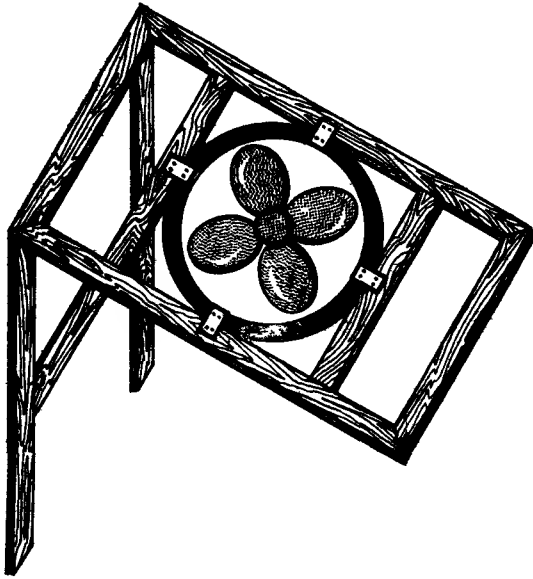
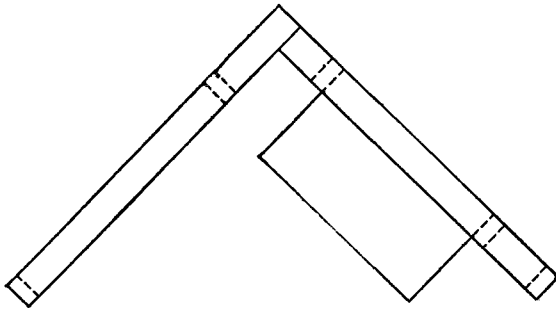


Рис. 4

ных отверстий, расположенных под карнизом крыши. Наилучший способ для этого — укрепить вентилятор под углом 45° к настилу чердака. Рекомендуется изготовить каркас из пары рамок, имеющих



Вид сбоку

Рис. 5

соотношение сторон 2 : 1 (рис. 4), а затем прикрепить вентилятор к одной из них (рис. 5). После этого можно разместить каркас над вентиляционным отверстием. Убедитесь, что отверстие достаточно велико и весь обмениваемый воздух проходит через него, иначе вентилятор будет работать не достаточно эффективно.

Панель солнечной батареи закрепляется на части крыши, обращенной на юг, и присоединяется к вентилятору. Лучше опустить провода до края крыши и провести их через вентиляционное отверстие в карнизе, чем сверлить для них в крыше специальное отверстие: меньше вероятности нарушить кровлю.

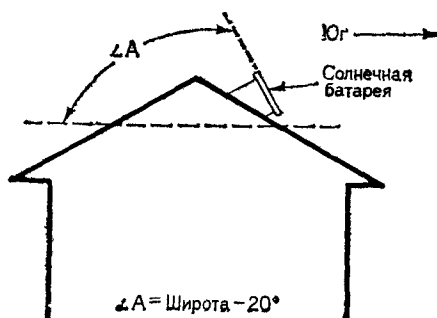


Рис. 6

При подключении солнечной батареи к вентилятору обращается внимание на направление вращения электромотора. При одном направлении вращения воздух будет вытягиваться наружу, при другом — втягиваться в помещение. Если вентилятор не вращается в надлежащем направлении, необходимо поменять местами питающие провода.

Список деталей

Вентилятор диаметром 20 см поставляется фирмой Energy Sciences 832 Rockville Pike Rockville, MD 20852 Contact: Larry Miller

Вентилятор диаметром 30 см поставляется фирмой Wm. Lamb Co. 10615 Chandler Blvd. North Hollywood, CA 91601

Фотоэлектрическая батарея (см. текст)

ВОДЯНОЙ ФОНТАН

Вид и звук текущей воды оказывают самое успокаивающее действие, будь то ласково журчащий ручей или ревущий водопад. Ничто не может сравниться с ними.

К сожалению, не каждому доступно счастье обладать собственным чудом природы. Однако можно воспользоваться почти равноценной заменой.

Воспетый древними греками скульптурный фонтан соединяет в себе спокойствие природы и искусство человека. В нашей конструкции эта гармония проявляется еще более ярко: добавлено технологическое новшество, которое использует энергию Солнца.

Фонтаны

Фонтаны могут быть самых разнообразных форм и размеров — от едва различимых до весьма внушительных. Когда мы думаем о фонтанах, многие из нас вспоминают изящные фигуры мифологических богинь тонкой работы выдающихся мастеров прошлого. Это, конечно, фонтаны классического стиля.

Однако фонтаны могут быть самыми разнообразными по стилю. В наше время наблюдается тенденция к созданию небольших фонтанов для внутреннего дворика. Большое число разнообразных недорогих фонтанчиков может быть использовано, например, в детских садах и яслях.

Новым достижением в этой области считается комнатный миниатюрный фонтан, который можно расположить в углу комнаты или на столе.

Принцип работы фонтана

Независимо от типа выбранного фонтана для его изготовления потребуются одни и те же основные компоненты. Во-первых, это резервуар с водой, который обычно находится внутри скульптуры. Во-вторых, приспособление для циркуляции воды.

Механизм действия фонтана очень прост. Он функционирует по замкнутому циклу, как показано на рис. 1. Прежде всего резервуар

заполняется водой. Из него насос подает воду по внутреннему водопроводу в верхнюю часть конструкции, откуда она свободно падает вниз. Вода каскадом сливается в бассейн, и цикл повторяется.

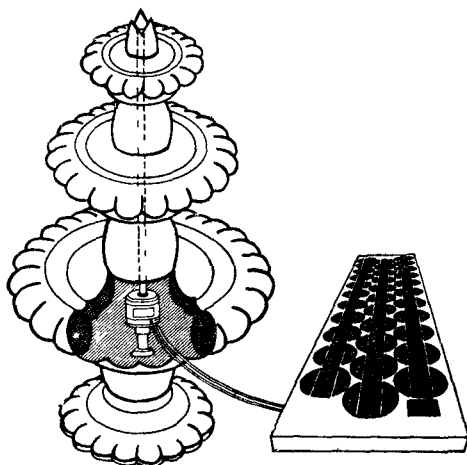


Рис. 1

Поскольку водопроводная система фонтана неотъемлема от его конструкции, нас будут интересовать только циркуляция воды и выбор необходимого вида насоса и фотоэлектрического источника питания для него.

Водяные насосы

Как и фонтаны, насосы бывают различных видов и размеров. Насосы выбирают, исходя из двух характеристик. Во-первых, *количества* воды, которую насос может перекачать за данный промежуток времени. Обычный насос перекачивает 40 литров жидкости в минуту, или 40 л/мин. Во-вторых, *давления*, под которым подается вода. Давление воды подобно электрическому напряжению в схеме.

Разумеется, вода имеет вес (1 л воды весит 1 кг). Таким образом, если взять вертикальную трубку и наполнить ее 10 л воды, то общий вес у основания трубки составит 10 кг. Если площадь сечения трубки у основания составляет 5 см², необходимо давление не менее $2 \cdot 10^5$ Па (2 атм.), чтобы поднять эту колонну воды.

Поэтому давление на выпускном конце насоса определяет высоту, на которую можно накачать воду. Это давление называют *гидростатическим напором*. Напор обратно пропорционален скорости потока жидкости: например, при уменьшении напора увеличивается скорость потока.

Однако вам едва ли придется рассчитывать параметры насоса, если вы не собираетесь самостоятельно изготовить фонтан. Для большинства готовых конструкций фонтанов можно сразу выбрать насос нужных размеров для достижения желаемого результата.

При выборе насоса для своего фонтана отдайте предпочтение низковольтному устройству. На это есть несколько причин, не последняя из которых — обеспечение безопасности при взаимодействии воды и электричества. Такое сочетание бывает иногда смертельным.

Опыт подсказывает, что наилучшим является насос на напряжение 12 В. Во-первых, таких насосов много, и их можно приобрести в магазинах запчастей, включая автомагазины. Загляните в отдел, где продаются стеклоочистители, топливные электронасосы и водяные инжекторы.

Солнечная батарея

Другая причина, по которой необходимо выбрать насос на 12 В, связана с фотоэлектрическими преобразователями, которые будут его питать. Серийно выпускаются модули, предназначенные для заряда 12-вольтовой свинцовой аккумуляторной батареи. Они, как правило, выпускаются секциями, напряжением по 12 В каждая, что весьма подходит для наших целей.

Такая стандартизация привела к разработке солнечных батарей с большим разнообразием токовых и мощностных характеристик, что дает возможность выбрать необходимый готовый фотоэлектрический преобразователь.

При использовании 12-вольтовых источника питания и насоса напряжение согласуется автоматически. С другой стороны, выходной ток солнечной батареи должен соответствовать типу насоса.

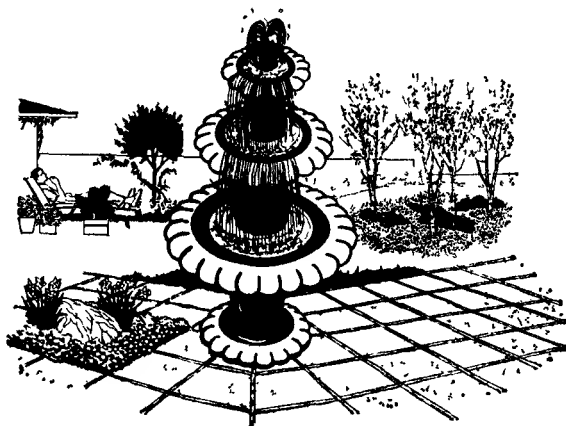


Рис. 2

В большинстве случаев можно найти данные о потребляемом токе на корпусе насоса. Однако необходимо знать, что означают эти данные.

Потребляемый насосом ток обычно измеряют в экстремальных условиях его работы (при максимальных давлении и объеме перекачиваемой воды). Соответствующая этим условиям величина тока и указана на корпусе насоса.

Однако, если насос используется не на пределе своих возможностей, будет достаточен и меньший ток. Правда, его величину заранее трудно определить. Ниже описывается порядок изготовления фонтана типичной конструкции, что позволит яснее представить себе проблему в целом.

Изготовление фонтана

Сначала был заказан фонтан для внутреннего дворика, к которому необходимо было приобрести насос производительностью 10 л/мин при давлении $2 \cdot 10^5$ Па (2 атм). Параметры насоса были указаны в инструкции по эксплуатации.

Затем был найден нагнетательный насос того же типа, что используется в гидросистемах автобусов. Согласно его технической характеристике, насос обеспечивал нужный мне поток при более высоком (чем необходимо) давлении. Мотор был рассчитан на напряжение 12 В и ток 7 А.

После установки насоса в фонтан он был подсоединен к источнику питания 12 В. При помощи включенного последовательно с источником амперметра было установлено, что в обычных условиях насос потребляет ток 2 А. Необходимо иметь в виду, что это касается конкретного примера. По конструкции фонтан может отличаться от приведенного выше, однако необходимо действовать аналогичным образом. Потребляемый ток оказался значительно меньше величины 7 А, обозначенной на корпусе насоса.

Следующая задача состояла в выборе солнечной батареи, которая генерировала бы ток 2 А при напряжении 12 В. Это было несложно, хотя, конечно, хотелось остановиться на наиболее удобной конструкции. В конце концов была выбрана батарея типа ASI-2000, которую выпускает фирма ARCO Solar.

Выбор оказался удачным. При полном солнечном освещении насос выбрасывает струю воды на высоту 30—45 см над верхней точкой фонтана.

Однако высота струи зависит от условий освещенности. Когда лучи утреннего солнца падают на панель солнечной батареи, появляется небольшая струйка. Хотя она не так впечатляет, тем не менее картина приятная. С приближением полудня фонтан предстает во всей красе, так как фотоэлектрический преобразователь вырабатывает максимальную мощность. При заходе солнца снова

уменьшается сила струи и, наконец, фонтан прекращает работу. Ясно, что не слишком благоприятные условия солнечного освещения также влияют на работу фонтана.

Из-за испарения в систему необходимо подливать воду. Вообще насосу не желательно работать без воды, так как может произойти поломка. Зимой, естественно, следует предотвратить возможное замерзание.

Другие варианты

Устройство, которое было использовано, изображено на рис. 1. Как видно, это лишь общий вид конструкции, действие которой описано выше в этой главе.

В разработанную систему легко внести любые изменения. Можно установить насос другого типа или другую солнечную батарею. Может быть, читателю даже захочется самому изготовить солнечную батарею, а не покупать готовую. Конечный результат зависит только от вашей фантазии.

РЕГУЛЯТОР ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

До этой главы рассматривались устройства, питание которых осуществлялось непосредственно от солнечных элементов. Однако такое простое подключение солнечных элементов возможно только при условии, если отсутствие солнечного освещения и, следовательно, питания практически не приводит к нежелательным последствиям.

Во многих случаях необходимо, чтобы электроприборы и оборудование работали и при отсутствии солнечного света. Для этого следует накопить в аккумуляторах солнечную энергию, вырабатываемую в течение дня, для последующего использования. Наиболее приемлемыми для этих целей являются свинцово-кислотные аккумуляторные батареи.

Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи

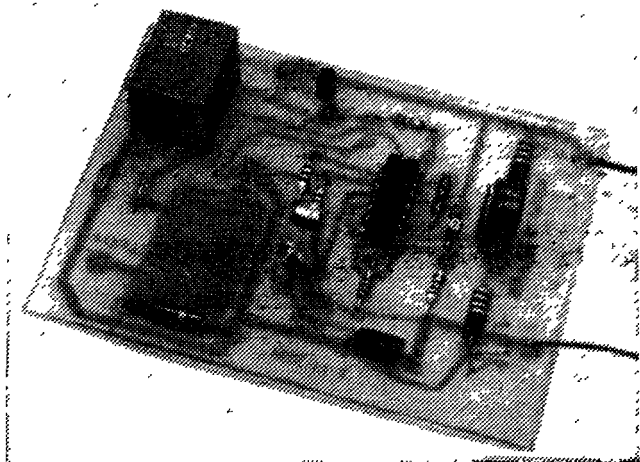
Свинцово-кислотные аккумуляторные батареи фактически состоят из нескольких отдельных элементов, соединенных последовательно. Каждый элемент, развивающий напряжение до 2 В, содержит две свинцовые пластины, помещенные в слабый раствор серной кислоты. При протекании электрического тока через элемент происходит обратимая электрохимическая реакция, и в элементе запасается электрическая энергия, которую при необходимости можно впоследствии использовать.

Несмотря на кажущуюся простоту, в действительности процесс зарядки аккумуляторной батареи достаточно сложен. Батарея свинцово-кислотных аккумуляторов является чувствительным электрическим устройством, требующим бережного отношения, особенно при зарядке. В подтверждение этого проследим за различными стадиями типичного зарядного цикла.

Заряд аккумуляторной батареи начинается при приложении напряжения к пластинам элемента, в результате чего через него начинает протекать электрический ток. Он приводит к возникновению электрохимической реакции, изменяющей химический состав пластин и электролита аккумуляторного элемента. Скорость этой реакции зависит от величины зарядного тока. Чем больше ток, тем быстрее протекает реакция. В конечном счете именно заряд, свя-

занный с этим током, запасается в элементе для последующего использования.

Аккумуляторная батарея накапливает все больший заряд, и в конце концов наступает насыщение. По существу химическая реакция стабилизируется или *уравновешивается*, и дальнейшее накопление заряда прекращается.



Равновесие наступает, когда большинство сульфатных ионов, которые были поглощены из раствора серной кислоты свинцовыми пластинами во время цикла разряда батареи, возвращается из пластин в раствор.

При этом пластины снова приобретают металлические свойства и начинают вести себя, как электроды, помещенные в водный раствор (прекрасную среду для электролиза). Зарядный ток начинает разлагать воду в электролите на элементарные составляющие (водород и кислород).

Этот процесс можно заметить, даже не зная о его существовании, наблюдая так называемое «кипение» батареи. Термин этот ошибочно используют из-за внешнего сходства пробуживания пузырьков газа при электролизе с кипением.

Правильнее этот эффект называть *газовыделением*. Газовыделение начинается, когда в батарее запасено около 70—80 % полного заряда. Если бы батарея заряжалась с прежней скоростью, газовыделение привело бы к повреждению аккумуляторных элементов.

Однако скорость электролиза, вызывающего газовыделение, пропорциональна току, протекающему через элемент. Чем меньше ток, тем медленнее разлагается вода и слабее ~~выделение~~ газа.

Можно существенно уменьшить разрушительные последствия выделения газа, снизив зарядный ток при появлении признаков газовыделения. Хотя оно полностью прекращается только в отсутствие тока, величину зарядного тока можно снизить до такого уровня, чтобы не ухудшить качество батареи при накоплении заряда.

На последнем этапе заряда аккумуляторную батарею заряжают током, величина которого обычно составляет небольшую часть начального зарядового тока. Этим током медленно заряжают батарею и тем самым предотвращают интенсивное выделение газа.

После полного заряда аккумуляторной батареи ее можно отключить от источника питания. Из-за наличия примесей в электролите и изменения химического состава пластин в аккумуляторных элементах возникают внутренние токи, уменьшающие со временем накопленный заряд. В конечном итоге аккумуляторная батарея саморазрядится.

Регуляторы заряда аккумуляторных батарей

Очевидно, что ток, необходимый для заряда аккумуляторной батареи, зависит от степени заряженности аккумуляторных элементов. Отсюда вытекает необходимость создания регулятора заряда, оценивающего состояние разряженности батареи и в зависимости от него управляющего зарядным током.

Известны три способа заряда свинцово-кислотных аккумуляторов. При заряде от солнечных элементов наиболее пригоден способ с двухступенчатым зарядным циклом (рис. 1).

Прежде всего предположим, что аккумуляторная батарея полностью разряжена. Начнем пропускать ток через элементы. Поскольку зарядный цикл аккумуляторной батареи должен соответствовать периоду генерации солнечными элементами полезной электрической мощности, желательно, чтобы заряд батареи происходил за возможно кратчайшее время.

Оптимальным режимом заряда будет такой, при котором выделение газа начнется примерно через 4 ч после начала заряда батареи. Это время соответствует наибольшей интенсивности солнечного излучения в светлое время суток, обычно в интервале 10—14 ч. Независимо от сезонных изменений и погодных условий именно в это время суток можно достичь максимальной отдачи от солнечных элементов.

Этому времени заряда численно соответствует зарядный ток величиной 20 А на каждые 100 А·ч емкости батареи, если, конечно, солнечные элементы позволяют получать такой ток. Например, батарея емкостью 75 А·ч должна заряжаться током 15 А.

После 4-часового заряда при фиксированной скорости до начала газовыделения в батарее будет запасено 80 % полного заряда. На

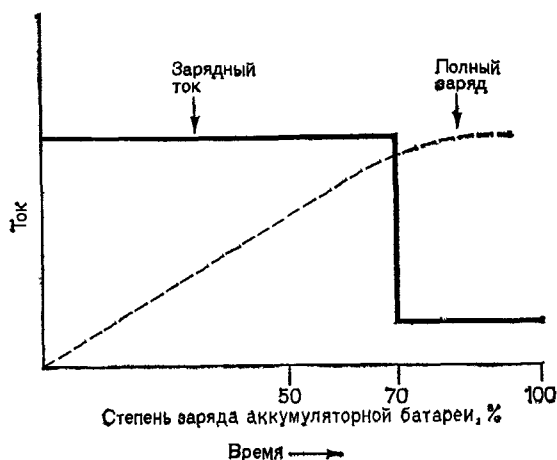


Рис. 1

следующем этапе необходимо снизить зарядный ток до более низкого уровня.

Величина этого тока обычно составляет 2—5 % емкости батареи. Для взятой в качестве примера батареи емкостью 75 А·ч зарядный ток на конечном этапе заряда может составлять 1,5—3,75 А. В зависимости от выбранного тока потребуются еще 4—10 ч для окончательного заряда аккумуляторной батареи.

При такой скорости для полного заряда батареи требуется более 1 сут. Однако в совершенных энергетических устройствах аккумуляторные батареи обычно находятся в полностью заряженном состоянии большую часть времени эксплуатации, а их полная разрядка встречается крайне редко.

Резервный (компенсационный) подзаряд аккумуляторных батарей

После окончательного заряда аккумуляторной батареи рекомендуется дополнительно подать на нее ток резервного (компенсационного) подзаряда. Величина этого тока обычно составляет 1—2 % полной емкости аккумуляторной батареи. Этот дополнительный *третий* этап заряда батареи усложняет конструкцию регулятора заряда.

Выйти из положения можно, объединив второй и третий этапы заряда, используя в качестве конечного тока или резервного подзарядного тока один и тот же ток, значение которого составляет 2 % от емкости батареи. В результате упрощается конструкция регулятора и повышается его надежность.

Конструирование регулятора

Для нормальной работы регулятора заряда, удовлетворяющего перечисленным выше требованиям к зарядному току, необходимо иметь сведения о степени заряженности аккумуляторной батареи в любой момент времени.

К счастью, сама батарея дает ключ к решению этой проблемы: имеется надежно установленное соотношение между количеством запасенного в батарее заряда и напряжением на ней. Как видно из рис. 2, это отношение почти всегда линейно.

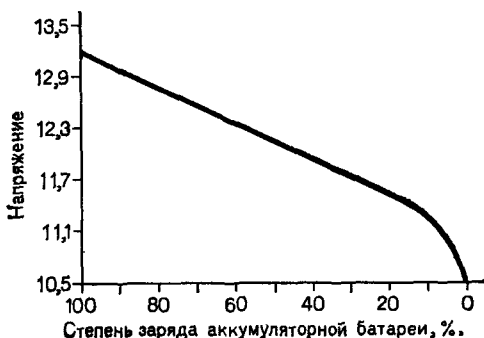


Рис. 2

Интересующая нас область заряда лежит в пределах 70—80 % от полного заряда батареи. Именно при достижении такой степени заряженности начинается газовыделение и необходимо изменить зарядный ток. Для 12-вольтовой батареи в этой точке напряжение составляет 12,6 В. Полностью заряженная батарея развивает напряжение 13,2 В.

Определяя напряжение на батарее, можно регулировать зарядный ток. Если напряжение ниже 12,6 В, то аккумуляторные элементы содержат менее 80 % заряда и регулятор выдает полный зарядный ток. Когда же напряжение на батарее поднимается выше 12,6 В, необходимо снизить зарядный ток до уровня подпитывающего тока.

За напряжением на батарее следит специальное устройство (компаратор), которое представляет собой не что иное, как обычный усилитель с очень большим коэффициентом усиления. Действительно, компаратор, включенный в схему, представленную на рис. 3, можно использовать как операционный усилитель.

Компаратор сравнивает два напряжения — измеряемое и опорное, подаваемое на его входы. На инвертирующий вход компаратора (—) подается опорное напряжение со стабилизатора D2. Этим напряжением задается уровень срабатывания устройства.

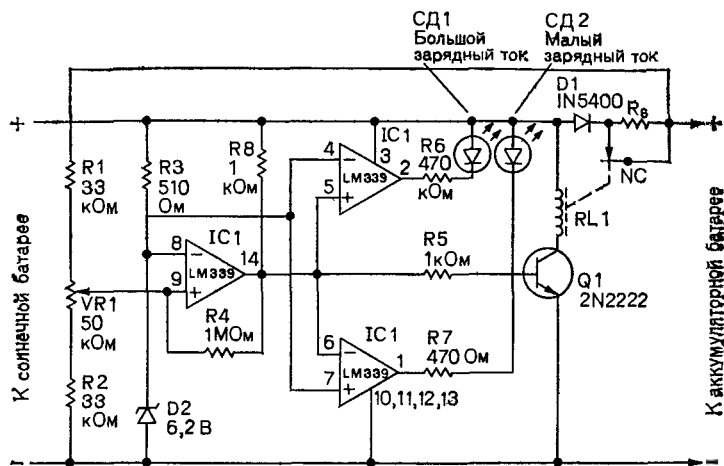


Рис. 3

Напряжение батареи делится резисторами $R1$, $VR1$ и $R2$ так, чтобы оно приблизительно равнялось напряжению стабилизации диода $D2$. Напряжение, поделенное резисторами, подается на неинвертирующий вход (+) компаратора с движка потенциометра $VR1$ точной настройки порога переключения.

Если напряжение аккумуляторной батареи уменьшится настолько, что сигнал на неинвертирующем входе опустится ниже предела, определяемого диодом $D2$, на выходе компаратора установится отрицательное напряжение. Если же напряжение батареи поднимается выше опорного, на выходе компаратора установится положительное напряжение. Переключение знака напряжения на выходе компаратора и будет обеспечивать необходимое регулирование зарядного тока.

Принцип работы регулятора заряда

Зарядный ток регулируется с помощью электромагнитного реле. Реле управляется через транзистор Q1 выходным напряжением компаратора. Отрицательное напряжение на выходе компаратора означает, что батарея разряжена и требуется полный зарядный ток (транзистор Q1 закрыт). Следовательно, коллекторный ток равен нулю и реле выключено.

Нормально замкнутые контакты реле шунтируют токоограничительный резистор R_s . Когда реле выключено, резистор исключен из цепи и полный ток от солнечных элементов поступает на аккумуляторную батарею.

С увеличением степени заряженности возрастает напряжение на аккумуляторной батарее. Выделение газа начинается, когда напряжение достигнет 12,6 В. Компаратор, настроенный на этот уровень, переключается (на выходе компаратора — плюс). Транзистор открывается, и коллекторный ток включает реле. Контакты реле, шунтировавшие резистор R_S , размыкаются.

Емкость батареи, А ч	Ток заряда, А	Ток резервного подзаряда, А	Сопротивление R_S , Ом	Рассеиваемая R_S мощность, Вт
5	1,0	0,1	23	0,25
10	2,0	0,2	12	0,50
15	3,0	0,3	8,7	0,80
25	5,0	0,5	4,6	1,15
50	10	1,0	2,3	2,3
75	15	1,5	1,5	3,4
100	20	2,0	1,2	4,8
150	30	3,0	0,7	6,3

Рис. 4

Теперь зарядный ток от солнечных элементов должен преодолеть сопротивление ограничивающего резистора. Номинал этого резистора выбирается таким, чтобы величина зарядного тока составила 2 % от емкости батареи. В таблице на рис. 4 представлены значения R_S в зависимости от емкости аккумуляторной батареи.

Вблизи напряжения переключения компаратора имеется некоторая неопределенность. Пусть, например, напряжение на батарее поднялось до 12,6 В, превысив порог срабатывания. В обычных условиях при этом изменится выходное напряжение компаратора, сработает реле и уменьшится зарядный ток.

Однако выходное напряжение аккумуляторной батареи зависит не только от степени заряженности, но и от других факторов, и поэтому не так уж и редко наблюдается небольшое снижение напряжения после выключения большого зарядного тока. Вполне вероятно, например, снижение напряжения на несколько сотых долей вольта (до 12,55 В). Как в этом случае будет работать схема?

Очевидно, что компаратор переключится обратно и восстановится режим большого зарядного тока. Поскольку напряжение на аккумуляторной батарее очень близко к 12,6 В, то резкий рост тока несомненно вызовет скачок напряжения до уровня, превышающего 12,6 В. В результате реле снова выключится.

В этих условиях будет происходить переключение компаратора туда и обратно вблизи напряжения срабатывания. Для исключения этого нежелательного эффекта, называемого «рысканием», в усиле-

тель вводится небольшая положительная обратная связь с помощью резистора R_4 , создающая гистерезисную зону нечувствительности.

При наличии гистерезиса для срабатывания компаратора требуется большее изменение напряжения, чем раньше. Как и прежде, компаратор переключится при 12,6 В, но для его возвращения в исходное состояние напряжение на аккумуляторной батарее должно снизиться до 12,5 В. Тем самым колебательный эффект исключается.

Последовательное включение диода $D1$ в зарядную цепь предохраняет аккумуляторную батарею от разряда через солнечные элементы в темное время суток (ночью). Этот диод предотвращает также потребление энергии регулятором заряда от аккумуляторной батареи. Регулятор полностью питается от солнечных элементов.

Индикаторное устройство

В регулятор заряда введено индикаторное устройство, предназначенное для отображения режима работы регулятора в любой момент времени. Хотя индикатор не является необходимой частью устройства (регулятор будет работать и без него), тем не менее его наличие повышает удобство работы с регулятором.

Индикаторное устройство (рис. 3) состоит из двух компараторов и двух светоизлучающих диодов (СД). Инвертирующий вход одного компаратора и неинвертирующий — другого соединены со стабилитроном, вырабатывающим опорное напряжение. Остальные входы компараторов соединены с выходом компаратора, управляющего зарядным током.

Верхний компаратор срабатывает и включает светодиод СД1, когда регулятор работает в режиме большого зарядного тока. Если регулятор переключается в режим подпитывающего тока, верхний компаратор выключается, а нижний срабатывает и включает светодиод СД2.

Конструкция регулятора заряда

Регулятор заряда монтируется на печатной плате (рис. 5), размещение компонентов схемы на которой показано на рис. 6. Особое внимание следует обратить на размещение полупроводниковых элементов (во избежание ошибочного подключения выводов). Законченная схема размещается в любом (желательно водонепроницаемом) корпусе. Для этих целей вполне подойдет небольшая пластмассовая коробочка.

Если корпус непрозрачен, для индикации режимов работы следует просверлить в его крышке отверстие для светодиодов. Необходимо также сделать отверстие сбоку корпуса для вывода соединительных проводников,

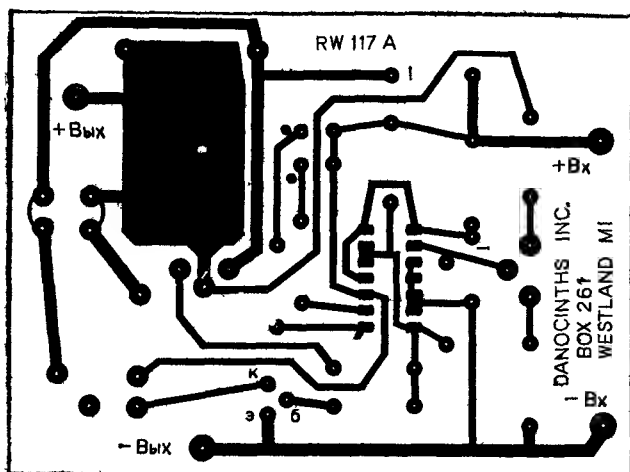


Рис. 5

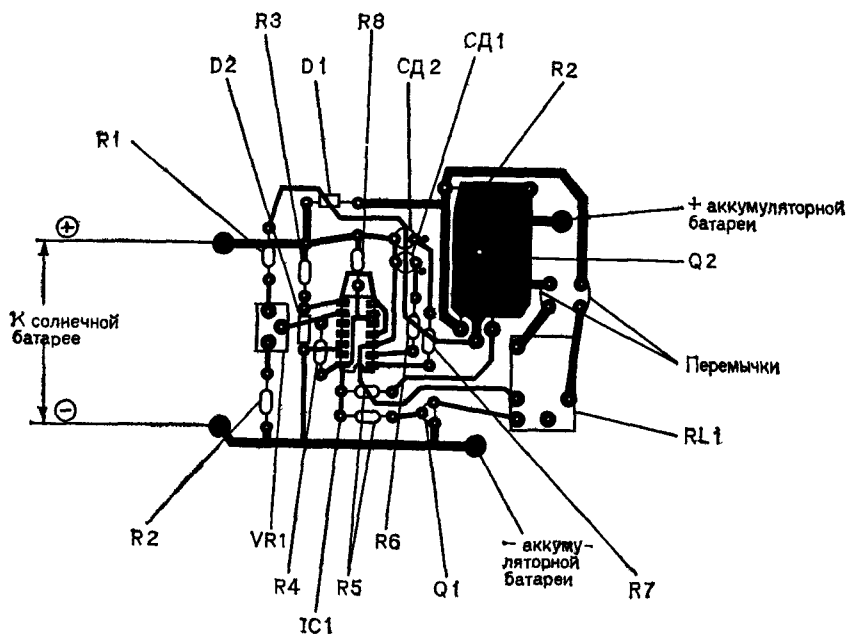


Рис. 6

Мощные регуляторы

Описанный регулятор может управлять зарядным током около 5 А. Его величина ограничивается свойствами контактов используемого электромагнитного реле.

Контакты реле рассчитаны на ток до 3 А, и вполне естественным является вопрос, почему рекомендовано использовать их до 5 А. Этому можно дать следующее объяснение. Когда контакты размыкают цепь, между ними обычно возникает небольшая электрическая дуга. Дуга приводит к явлениям, аналогичным электросварке, и на поверхности контактов появляются выемки. Чем больше протекающий ток, тем сильнее воздействие электрической дуги.

Для предотвращения подобного процесса в схеме описываемого регулятора контакты реле зашунтированы небольшим сопротивлением. Поэтому значительная часть энергии поглощается резистором, а не рассеивается в электрической дуге. Таким образом контакты, не разрушаясь, могут регулировать токи, превышающие номинальный.

Если требуется увеличить регулируемый ток, в схеме необходимо использовать более мощное реле, включаемое контактами слаботочного реле, как это показано на рис. 7.

Для установки второго реле в рисунок печатной платы необходимо внести соответствующие изменения.

Начните со снятия перемычек, идущих к контактам реле. Тем самым контакты отключаются от токоограничивающего резистора. Теперь используйте эти контакты для управления более мощным реле. Необходимо также заменить диод $D1$ и токоограничительный резистор R_s на диод и резистор, выдерживающие большие токи. Разумнее разместить оба этих элемента вне платы рядом с реле, поскольку они рассеивают больше тепла, чем прежние элементы схемы. Аккумуляторную батарею и солнечные элементы соедините

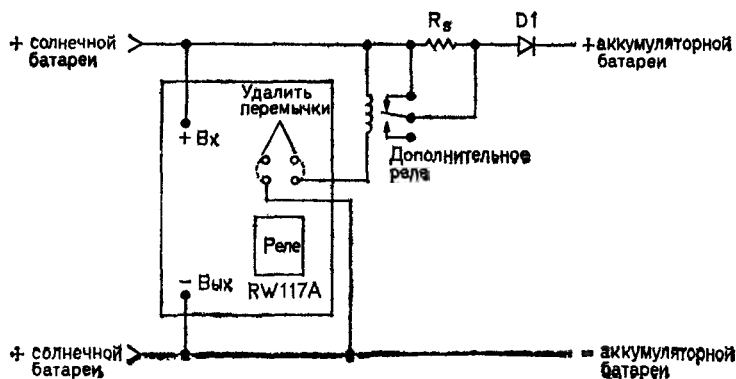


Рис. 7

непосредственно с мощным реле с помощью толстых проводников, а с помощью тонких проводников подайте питание на схему регулятора с положительного вывода солнечных элементов.

Маломощный регулятор

Возможен такой случай, когда электрической энергии небольшой солнечной батареи не хватит даже для питания реле. Тогда реле можно просто заменить транзистором. С этой целью можно убрать реле $RL1$ и управляющий им транзистор $Q1$ и подключить к

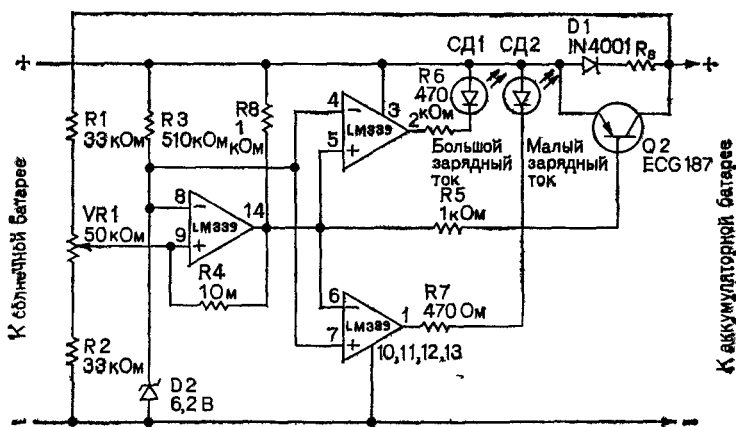


Рис. 8

резистору R_5 $p-n-p$ -транзистор, а его базу — к резистору R_5 . На рис. 8 приведена электрическая схема после полной модификации.

Когда напряжение на выходе компаратора положительно, транзистор включен и полный зарядный ток течет к батарее. Когда регулятор переключается в режим подпитывающего заряда, напряжение на выходе компаратора становится отрицательным, транзистор запирается и зарядный ток теперь течет только через резистор R_5 в обход транзистора.

Преимущество данной схемы перед релейной в том, что ее работа не ограничивается напряжением 12 В. Устройство может регулировать зарядку батарей, рассчитанных на напряжения 3—30 В. Конечно, необходимо изменить номиналы резисторов R_1 и R_2 и тип диода D_2 , чтобы сблизить значения напряжения, падающего на потенциометре VR_1 и опорного на стабилитроне. Ток ограничивается значением около 250 мА.

Радиатором, позволяющим отвести избыточное тепло от используемого транзистора, служит сама печатная плата. Теплоотводящая площадка формируется с обратной стороны платы и не требует никакой изоляции.

Калибровка

Для подключения регулятора необходимо сделать только четыре соединения. Два — к положительному и отрицательному выводам солнечной батареи и два соответственно к положительному и отрицательному зажимам аккумуляторной батареи.

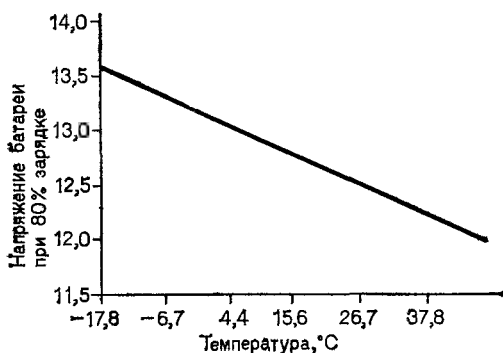


Рис. 9

После установки регулятора в зарядное устройство необходимо откалибровать схему и, в частности, отрегулировать ее чувствительность к изменению напряжения так, чтобы ток переключался в нужный момент. Для этого сначала пусть батарея слегка разрядится. Затем движок потенциометра *VR1* поворачивается по часовой стрелке до упора¹⁾. При этом контакты реле замкнутся.

Напряжение на батарее по мере подзаряда контролируется с помощью вольтметра. Когда оно достигнет 12,6 В, движок потенциометра *VR1* вращается в обратную сторону до тех пор, пока не выключится реле. Это будет соответствовать «подпитывающему» заряду.

К сожалению, зарядное напряжение батареи зависит и от ее температуры. Чем холоднее батарея, тем большее напряжение требуется для заряда. Тем самым изменяется пороговое напряжение, при котором должен срабатывать регулятор. График на рис. 9 показывает зависимость напряжения срабатывания от температуры.

¹⁾ По схеме — в верхнее положение. — *Прим. перев.*

Ошибкой в установке напряжения срабатывания можно в принципе пренебречь. Если температура батареи во время заряда будет относительно стабильной и положительной, что можно обеспечить тем или иным способом, например хорошо укрыв ее, то небольшие температурные изменения практически не повлияют на работу регулятора.

Список деталей

Мощный регулятор

Резисторы

$R1, R2$ —33 кОм

$R3$ —510 Ом

$R4$ —1 МОм

$R5, R8$ —1 кОм

$R6, R7$ —470 Ом

R — см. рис. 4

Полупроводники

$D1$ —1N5400

$D2$ —1N4735

$IC1$ —LM339

$CD1, CD2$ — индикаторы

$Q1$ —2N2222

Остальные детали

$RL1$ — реле Radio Shack 275-247)

$VR1$ —50 кОм, потенциометр

Маломощный регулятор

Резисторы

$R1, R2$ —33 кОм

$R3$ —510 Ом

$R4$ —1 МОм

$R5, R8$ —1 кОм

$R6, R7$ —480 Ом

R —100 Ом

Полупроводники

$D1$ —1N4001

$D2$ —1N4735

$IC1$ —LM339

$CD1, CD2$ — индикаторы

$Q1$ —ECG 187

Остальные детали

$VR1$ —50 кОм, потенциометр

Готовая печатная плата с высверленными отверстиями для регулятора заряда поставляется фирмой Dancinths, Inc., P. O. Box 261, Westland, MI 48185 по цене 11,25 долл. за штуку плюс 1,5 долл. за заказ и пересылку. Номер по каталогу RW117A

ЛАМПА АВАРИЙНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Нарушения в подаче электроэнергии не только сопровождаются неудобствами и ухудшением настроения, но и являются явным источником опасности. Хорошо освещенные лестница, коридор или рабочее пространство при отключении электроэнергии могут стать потенциальными источниками опасности. При резком наступлении темноты вероятность падения, а с ним и несчастного случая, увеличивается.

Во избежание несчастных случаев можно установить аварийную систему, которая обеспечит временное освещение зон, представляющих потенциальную опасность при отключении электроэнергии. При наличии такого освещения можно спокойно выйти из дома или произвести необходимые ремонтные работы, например сменить перегоревший сетевой предохранитель.

Принцип работы

Система аварийного освещения призвана обеспечить свет при отказе основного источника энергии. Работа системы основана на использовании энергии, накопленной в батарее аккумуляторов,

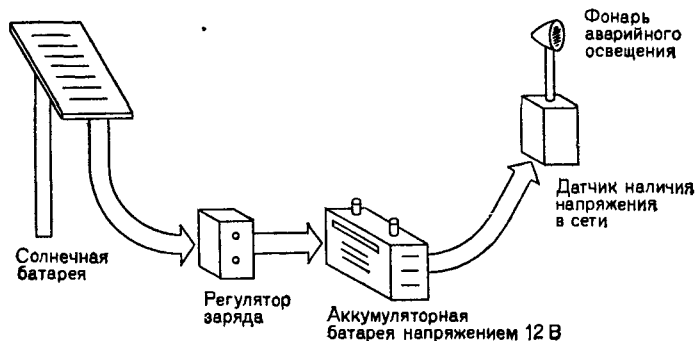


Рис. 1

постоянно поддерживаемой в заряженном состоянии. Блок-схема типичной аварийной системы освещения представлена на рис. 1.

Специальный датчик следит за напряжением в сети переменного тока. Он содержит реле, которое включает контур резервного освеще-

щения при отключении сети переменного тока. Контур резервного освещения состоит из аккумуляторной батареи и фонаря, соединенных последовательно с контактами реле, играющими роль двухпозиционного выключателя.

Аккумуляторная батарея является единственным источником электроэнергии при аварийном отключении сетевого питания, и, следовательно, она всегда должна находиться в заряженном состоянии. Вот когда потребуются фотоэлектрические преобразователи. Они преобразуют солнечную энергию в электричество и заряжают батарею.

Проектирование аварийной системы

Основу конструкции системы аварийного освещения составляет солнечная батарея. Для правильного выбора фотоэлектрического генератора необходимо сначала определить два параметра: рабочее напряжение и потребляемый ток аварийного фонаря.

Начнем с определения требуемой освещенности. Ее должно быть достаточно для освещения рабочей зоны в любой момент времени. Обычно в аварийных системах используется герметичная лампа (прожектор), рассчитанная на напряжение 12 В. Такой выбор обусловлен двумя причинами.

Во-первых, такая лампа отвечает требованиям, предъявляемым к освещенности, обладая достаточной яркостью и надежностью. Во-вторых, для нее требуется питание от низковольтного источника.

Более того, проще питать 12-вольтовую лампу от одной 12-вольтовой батареи, чем соединять несколько батарей для питания обычной лампы накаливания. Это позволяет конструировать компактное и надежное устройство.

Установка в доме низковольтной аварийной системы освещения причинит меньше беспокойства, чем аналогичная система с питанием от сети переменного тока напряжением 110 В. Исходя из правил эксплуатации жилых помещений, 110-вольтовая система обходится дороже и после установки обычно требует приема ее соответствующей инспекцией. Совершенно другое дело с низковольтными системами, которые достаточно безопасны при установке и эксплуатации, а проверять их работу приходится крайне редко. Кроме того, низковольтное аварийное освещение не требует особых мер предосторожности в условиях повышенной влажности (дожди или бури) и работать с ним можно, не опасаясь поражения электротоком.

Описание системы

Мощность, потребляемая системой, целиком зависит от типа используемой лампы. Была выбрана автомобильная фара, так как она создает достаточную освещенность, а также дешева и всегда

имеется в продаже. Эта лампа потребляет ток около 2 А при напряжении 12 В.

Затем фара присоединяется к батарее. Требуемая емкость батареи прямо пропорциональна отрезку времени, наступающему после отказа питания. Обычно нескольких минут более чем достаточно, чтобы привести все в порядок. Полагают, что 1 ч — наибольшее время, которое когда-либо может понадобиться для восстановления освещения.

С учетом всех упомянутых факторов была выбрана свинцово-кислотная аккумуляторная батарея емкостью 6 А·ч и напряжением 12 В. Она будет давать энергию для освещения комнаты в течение 2,5 ч — более чем достаточное время. Подобные батареи обычно используются для электропитания мотоциклов.

Фотоэлектрические преобразователи

Обычно потребуется солнечная батарея напряжением 12 В, дающая ток 1 А. Такие батареи довольно доступны, и поэтому можно сразу подобрать батарею необходимой мощности. Иногда продаются наборы из солнечных элементов, которые позволяют самостоятельно изготовить солнечную батарею.

Если имеется желание самому собрать солнечную батарею из отдельных элементов, то рекомендуется использовать наиболее распространенные круглые элементы диаметром 7,5 см. Потребуется всего 35 элементов. При конструировании необходимо следовать рекомендациям, изложенным в гл. 1.

Использование регулятора заряда

Поскольку маловероятно, чтобы аварийное освещение использовалось ежедневно или даже еженедельно, то не остается ничего другого, как ждать, когда что-нибудь произойдет. И если не регулировать ток, поступающий от фотоэлектрических преобразователей, можно перезарядить батарею. Вот подходящий случай использовать регулятор заряда, описанный в гл. 6.

Потребуется всего четыре соединения, чтобы объединить солнечную батарею, регулятор заряда и аккумуляторную батарею. Одним проводником следует соединить положительный вывод солнечной батареи с положительным входом регулятора заряда, как показано на рис. 2. Отрицательный вывод солнечной батареи необходимо подсоединить к отрицательному входу регулятора.

Положительный и отрицательный выводы регулятора заряда присоединяются к положительному и отрицательному полюсам аккумуляторной батареи соответственно. Эти электрические связи постоянны, и не имеет смысла ставить в цепь какой-либо выключа-

тель; при необходимости регулятор заряда подпитывает батарею зарядным током при условии, что в это время светит солнце.

Когда батарее не требуется полный зарядный ток (что бывает чаще всего), регулятор выдает небольшой ток, поддерживающий

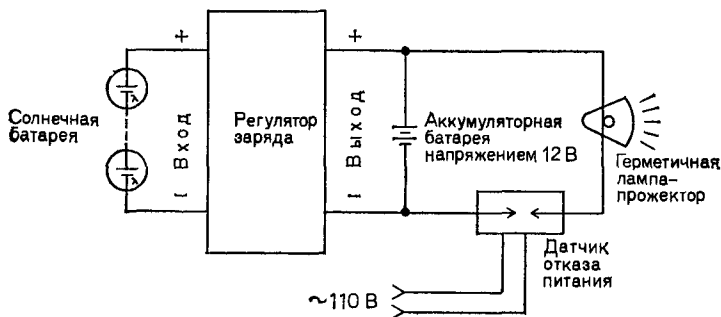


Рис. 2

батарею в заряженном состоянии. Величина такого подпитывающего тока определяется величиной токоограничительного резистора R_s в схеме регулятора. Для данного случая в качестве R_s подойдет полуваттный углеродистый резистор величиной 22 Ом.

Датчик отказа питания

Контур аварийного освещения контролируется с помощью датчика, реагирующего на отказ электропитания. Принцип действия датчика достаточно прост, в чем легко убедиться из рис. 3.

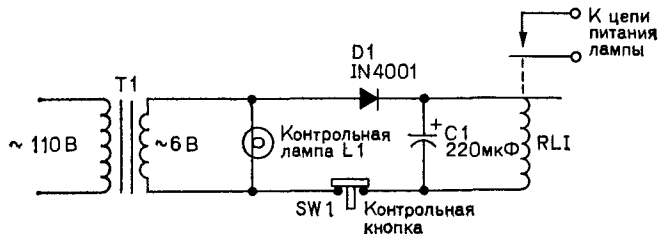


Рис. 3

Переменное напряжение подается на схему через трансформатор $T1$, понижающий напряжение сети до 6 В. Затем выпрямленное и сглаженное напряжение используется для управления реле $RL1$.

Реле включено, пока в сети имеется переменное напряжение. Как только напряжение пропадает, реле выключается и его электрические контакты замыкают контур питания лампы, включая тем самым аварийное освещение. При восстановлении напряжения

сети устройство автоматически возвращается в исходное состояние и находится в готовности до следующего отказа электропитания.

В схему датчика включены также элементы контроля и индикации. Индикация осуществляется с помощью лампочки накаливания с большим сроком службы, подключенной к 6-вольтовой обмотке трансформатора. Лампочка сигнализирует о наличии напряжения в сети.

Но она не может индицировать готовность батареи или аварийного освещения к работе. С этой целью в разрыв одного из выходных концов трансформатора поставлена размыкающая нефиксирующаяся кнопка. При нажатии на нее контур разрывается и реле отключается. Это приводит в действие схему аварийного освещения. При отпуске кнопки схема возвращается в исходное состояние.

Конструкция датчика отказа питания

Схема датчика достаточно проста и, следовательно, конструктивно может быть выполнена любым способом. Для желающих изготовить ее с применением печатного монтажа разводка платы в натуральную величину представлена на рис. 4. Размещение деталей представлено на рис. 5.

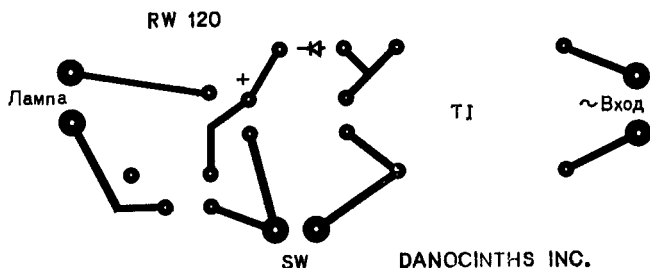


Рис. 4

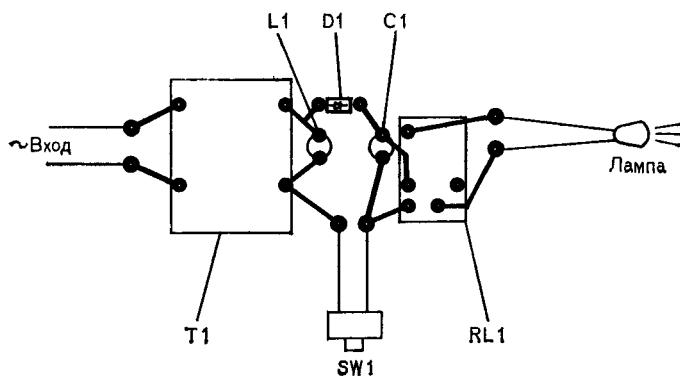


Рис. 5

Ничего особенного в конструкции нет; как обычно, не следует забывать о соблюдении полярности. По окончании монтажа необходимо поместить плату в пластмассовый корпус.

Для испытания готового прибора он подключается в сеть. Отметим момент срабатывания реле. После этого подключите контакты реле в контур аварийного освещения, и работа закончена!

Список деталей

Ст — конденсатор 220 мкФ, 16 В

D1 — диод 1N4001

L1 — 6-вольтовая лампочка (Radio Shack 272-1140)

RL1 — реле (Radio Shack 275-246)

SW1 — нормально замкнутая, нефиксирующаяся кнопка

T1 — трансформатор 220/6,3 (Radio Shack 273-1384)

Аккумуляторная батарея 12 В, 6 А·ч

Регулятор заряда (см. текст)

Солнечная батарея — 12 В, 1 А

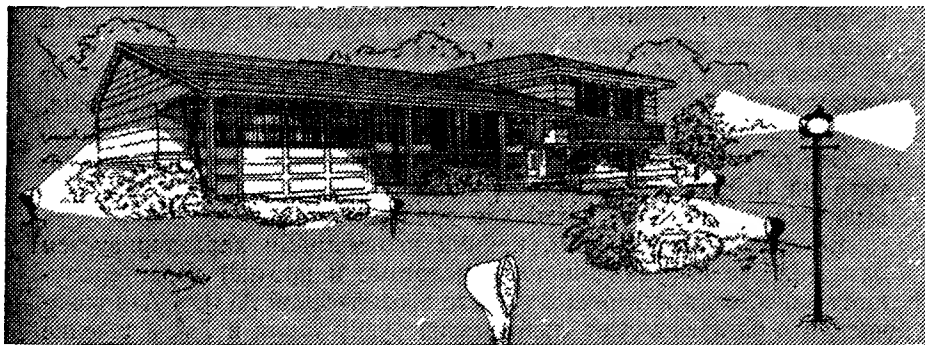
Герметичная автомобильная фара — 12 В

Готовая печатная плата для аварийного освещения, поставляется фирмой Danocinths, P. O. Box 261, Westland, MI 48185, за 7,5 долл. плюс 1,5 долл. за заказ и пересылку. Номер по каталогу RW120

ОСВЕЩЕНИЕ ПРИУСАДЕБНОГО УЧАСТКА

Независимо от названия (освещение приусадебного участка, уличный светильник) внешнее освещение выглядит весьма привлекательно у каждого дома. Кроме своей эстетической функции уличное освещение служит и в целях обеспечения безопасности.

Каждый знает, насколько опасной может стать неосвещенная дорожка. А неогороженный плавательный бассейн? Небольшие светильники, расположенные вдоль дорожки или вокруг бассейна, могут предотвратить несчастный случай во время прогулки. В данной главе приводятся рекомендации по установке внешнего освещения, использующего солнечную энергию.



Особенности системы

По принципу действия внешнее освещение в основном подобно аварийному, рассмотренному в предыдущей главе. Фотоэлектричество также используется для заряда свинцово-кислотной батареи, от которой в свою очередь работают лампы.

Однако имеется и существенное различие. Система аварийного освещения включается лишь изредка. Фактически она требуется только при перерывах в подаче электроэнергии в сети; остальное время система бездействует.

Внешнее освещение, напротив, должно использоваться в течение каждой ночи круглый год. В этом случае необходимо разработать систему, имеющую достаточно большую емкость батареи и мощность фотоэлектрического преобразователя, чтобы система в целом функционировала в любое время года и при любых погодных условиях. Эти требования не учитывались при разработке аварийного освещения.

Конструирование системы

Конструирование начинается с самих светильников. Они рассчитаны на низкое напряжение и благодаря этому весьма удобны для системы электропитания, в которой используются преобразователи солнечной энергии.

Несмотря на наличие множества различных моделей таких светильников, все они работают от напряжения 12 В. Лампы, входящие в комплект светильников, рассчитаны, как правило, на одинаковую мощность 12 Вт и, следовательно, потребляют ток 1 А каждая.

Сначала необходимо определить необходимое число светильников в системе. Это число зависит от каждого конкретного случая. Я выбрал пять, потому что этого количества вполне хватило для освещения газона перед домом и дорожки. Следовательно, мой источник энергии должен питать систему, потребляющую ток 5 А. Если бы я выбрал шесть ламп, потребовалось бы 6 А.

Сила тока в 5 А не является чрезмерной, и ее легко получить от нескольких свинцово-кислотных батарей, имеющих в продаже. Вопрос заключается лишь в необходимых размерах батареи.

Эта часть разработки несколько сложнее. Чтобы правильно ответить на поставленный вопрос, необходимо выполнить некоторые вычисления и сделать несколько предположений.

Во-первых, рассмотрим, какими параметрами характеризуется батарея. Все батареи (свинцово-кислотные и прочие) характеризуются емкостью в ампер-часах (часто обозначаемой А·ч). 1 А·ч означает, что батарея может снабжать нагрузку током в 1 А в течение 1 ч. Аналогично если батарея может давать ток 5 А в течение 1 ч, то ее емкость составляет 5 А·ч. Та же емкость достигается при токе 1 А в течение 5 ч. Независимо от величины напряжения емкость батареи численно определяется произведением силы тока на полное время его протекания.

Итак, было установлено, что система будет потреблять ток 5 А. Однако для грамотного выбора батареи необходимо знать продолжительность функционирования системы внешнего освещения за сутки. Пусть эта продолжительность в течение каждого вечера составляет 4 ч.

Теперь, умножив значение тока, потребляемого светильниками, на время их работы за сутки, мы получим требуемое количество ам-

пер-часов. В нашем случае $5 \text{ А} \times 4 \text{ ч} = 20 \text{ А} \cdot \text{ч}$. Это — *суточное* потребление энергии.

Отсюда следует, что батареи емкостью $20 \text{ А} \cdot \text{ч}$ вполне достаточно для вечернего освещения. Однако утром батарея будет полностью разряжена, и для последующей работы ее необходимо будет снова зарядить. Предположим, что весь следующий день будет идти дождь. Как же фотоэлектрические преобразователи зарядят батарею? Без солнечных лучей они не работают.

С учетом этого факта тотчас станет ясно, что необходимо увеличить емкость батареи. Батарея емкостью $40 \text{ А} \cdot \text{ч}$ будет питать осветительную систему в течение 2 дней, а $60 \text{ А} \cdot \text{ч}$ — в течение 3 дней.

Теперь необходимо определить еще одно условие: выбрать среднее время между циклами заряда и решить, как долго должна работать батарея без подзаряда. Этот параметр не слишком критичен в случае освещения приусадебного участка. Предположим, что запаса энергии в батарее на 3 дня будет вполне достаточно. Следовательно, необходима батарея емкостью $60 \text{ А} \cdot \text{ч}$.

Резюмируя сказанное выше, можно сформулировать последовательность простого расчета необходимых параметров солнечной и аккумуляторной батарей:

- 1) определить ток, потребляемый лампой;
- 2) определить число светильников в системе;
- 3) определить требуемое время работы освещения каждый вечер;
- 4) перемножить значения, полученные в пп. 1—3; полученный результат будет представлять собой суточное потребление энергии в ампер-часах;
- 5) оценить число пасмурных дней с недостаточной интенсивностью солнечного излучения, в течение которых аккумуляторная батарея должна обеспечивать энергией систему без подзарядки;
- 6) перемножение результатов, полученных в пп. 4 и 5, позволит определить емкость аккумуляторной батареи в ампер-часах;
- 7) увеличить результат п. 4 (в ампер-часах) на 33 % (на $1/3$) и определить тем самым среднее значение энергии, необходимое для подзаряда батареи за день;
- 8) определить длительность периода облученности солнечной радиацией для данного района (см. гл. 3);
- 9) разделить величину, полученную в п. 7, на длительность, найденную в п. 8;
- 10) величина, полученная в п. 9, — сила тока, который должна генерировать солнечная батарея. Величина, полученная в п. 6, — емкость аккумуляторной батареи.

Теперь все в порядке. Выбрано число светильников, установлена продолжительность их работы в течение суток и вычислена емкость батареи, необходимой для обеспечения этой работы. Осталось теперь только остановиться на определенном способе заряда батареи.

Требования к фотоэлектрическим преобразователям

Требования, предъявляемые к солнечной батарее, определяются условиями работы осветительной системы. Можно немного порассуждать; это не займет много времени.

Было сделано допущение, что для работы осветительной системы требуется $20 \text{ А} \cdot \text{ч}$ в сутки. Известно также, что энергию дает аккумуляторная батарея, следовательно, затраченная в вечернее время энергия должна быть, выражаясь фигурально, возвращена на следующий день.

К сожалению, ни одна батарея не является идеальной. Как правило, чтобы зарядить свинцово-кислотный аккумулятор, необходимо подвести на 20 % больше энергии, чем было выделено. Следовательно, на каждые $20 \text{ А} \cdot \text{ч}$, полученные от аккумулятора, необходимо вернуть $24 \text{ А} \cdot \text{ч}$.

Следующий шаг — разработка фотоэлектрической батареи, генерирующей $24 \text{ А} \cdot \text{ч}$ в сутки. Чтобы добиться этого, необходимо знать имеющуюся в распоряжении инсоляцию. Эта величина определяется количеством полезных солнечных часов, иными словами, промежутком времени (в часах) за день, в течение которого можно считать, что солнце производит необходимую нам работу.

Определить количество полезных солнечных часов для любой местности можно двумя способами. Во-первых, непосредственно используя измеритель инсоляции, описанный в гл. 3. Или можно воспользоваться более общим значением на основании карты, приведенной в той же главе. Карта составлена с учетом сезонных изменений и общего характера погоды.

В случае описанной осветительной системы для расчетов была выбрана длительность полезного освещения, соответствующая в среднем 4,5 полезных солнечных часов за сутки. Как видно из карты, эта цифра одинакова для большинства районов континентальной части США.

Теперь, если разделить количество ампер-часов ($24 \text{ А} \cdot \text{ч}$), требуемых для подзарядки аккумуляторной батареи, на среднее значение полезных солнечных часов (4,5 ч), можно получить величину тока, которую должна генерировать солнечная батарея: 5,3 А.

Теоретически этому требованию удовлетворяет батарея, генерирующая ток 5,3 А при напряжении 12 В. Однако имеются другие, еще не рассмотренные нами факторы. К ним относятся потери в соединительных проводниках, потребление энергии регулятором и т. д. Следовательно, для обеспечения надежности неплохо создать определенный запас по мощности; вполне подойдет, например, 10-процентный запас.

Таким образом, минимальный ток, вырабатываемый солнечной батареей, должен составлять около 6 А. Произведя обратный расчет, т. е. умножив 6 А на 4,5 ч, получим, что солнечная батарея за

сутки будет выдавать *в среднем* 27 А·ч. В некоторые дни отдача может быть меньше, в другие — больше.

Следует помнить, конечно, что для ежедневной зарядки аккумуляторной батареи не требуется 27 А·ч, недостающее количество солнечной энергии в некоторые дни будет восполнено аккумуляторной батареей. Однако для нормального функционирования осветительной системы *среднее значение* должно составлять 27 А·ч.

Солнечная батарея

Конкретную солнечную батарею можно изготовить множеством способов. Можно параллельно соединить небольшие модули и достичь необходимой мощности 87 Вт, но это будет стоить очень дорого.

Как правило, чем больше размер модулей, из которых собирается батарея, тем дешевле стоимость 1 Вт электроэнергии, вырабатываемой солнечной батареей. Для описываемой системы были использованы три модуля, каждый из которых генерировал ток 2 А. Все модули были изготовлены из круглых, относительно дешевых солнечных элементов диаметром более 10 см.

Если самостоятельно собирать солнечную батарею из элементов, то можно посоветовать использовать круглые элементы диаметром 10 см из монокристалла или квадратные элементы 10×10 см² из поликристаллического материала. Хотя квадратные элементы не столь эффективны, как круглые монокристаллические, они дешевле. Однако их потребуется больше.

Чтобы обеспечить циклическую работу осветительной системы (выключение в дневное время и включение в вечернее время), необходим таймер. В большинстве осветительных систем используются механические часы-таймеры, которые включают и выключают свет в определенное время; однако кажется, что это — напрасная трата энергии. Зачем зажигать свет раньше, чем зайдет солнце? Единственный выход в случае обычных таймеров — вручную устанавливать таймер, подстраиваясь под солнечный цикл, что делается довольно часто.

Однако лучше всего «заставить» заходящее солнце запускать таймер. Это делается с помощью электронной схемы, представленной на рис. 1. Рассмотрим ее работу.

В качестве светочувствительного фоторезисторного элемента используется фотоэлемент PC1, освещаемый прямыми солнечными лучами. С изменением интенсивности света, падающего на фотоэлемент, пропорционально изменяется его сопротивление. В дневное время его сопротивление очень мало (порядка 100 Ом). Однако с наступлением темноты оно увеличивается в 100 и более раз и достигает величины более 500 кОм.

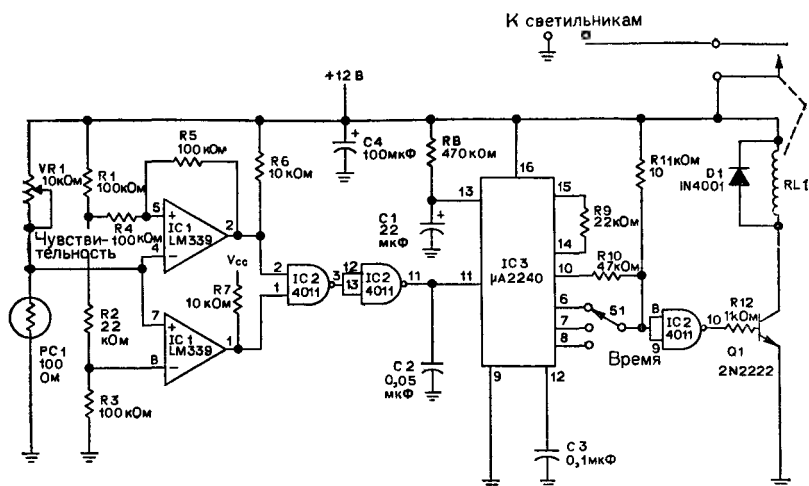


Рис. 1

Последовательно с фоторезистором включен резистор $VR1$, образуя делитель, выходное напряжение которого зависит от величины сопротивления фоторезистора $PC1$. Чем больше света, тем меньше выходное напряжение, и наоборот.

Величину напряжения контролируют два компаратора. Необходимо отметить, что нижний используется в неинвертирующем варианте включения, а верхний — в инвертирующем. Это означает, что при нулевом входном напряжении нижний компаратор выдает напряжение низкого уровня, а верхний — высокого.

Компараторы включены таким образом, что нижний компаратор переключается при более низком входном напряжении, чем верхний. Как только напряжение на $PC1$ увеличивается (при заходе солнца), первый компаратор переключается, на его выходе устанавливается высокий уровень напряжения. Теперь на выходах обоих компараторов устанавливается напряжение высокого уровня.

В этом случае цепочка из двух логических элементов И-НЕ ($IC2$) выдает на вывод 11 микросхемы $IC3$ напряжение высокого уровня.

Микросхема $IC3$ представляет собой программируемый таймер. Он может измерять интервалы времени длительностью вплоть до суток. Внутри этой микросхемы имеется двоичный счетчик со сквозным переносом, выходы которого можно использовать для установки времени. Переключая их, легко увеличить время срабатывания в 2 или 4 раза.

Номинальное время срабатывания таймера определяется сопротивлением $R8$ и емкостью $C1$. При указанных на схеме величинах

$R8$ и $C1$ напряжение на выводе 8 увеличивается через 4 ч. На подключенном к младшему разряду счетчика выводе 7 напряжение появится через 2 ч, на выводе 6 — через 1 ч. Работа таймера начнется при подаче высокого потенциала на вывод 11.

Время срабатывания таймера выбирается переключателем $S1$ «Время». В начале цикла работы на всех выходах — низкий потенциал. Контакты реле $RL1$ в этих условиях замкнуты благодаря транзистору $Q1$ и микросхеме $IC2$. Электроэнергия подводится к внешнему освещению — и фонари горят.

С наступлением ночи напряжение на $PC1$ продолжает увеличиваться. Вскоре верхний компаратор срабатывает и на его выходе устанавливается напряжение низкого уровня. При этом изменяется состояние входов $IC2$ и на вход $IC3$ поступает напряжение низкого уровня. Тем не менее никакого влияния на работу таймера это изменение не оказывает.

По окончании заданного интервала микросхема $IC3$ автоматически приходит в исходное состояние. Сброс производится импульсом обратной связи, поступающим с выхода микросхемы. Поскольку на выводе 11 теперь низкий потенциал, повторного запуска микросхемы не происходит. Кроме того, в результате выключается реле и освещение гаснет.

На следующее утро с восходом солнца постепенно снижается сопротивление $PC1$ и, как следствие, уменьшается входное напряжение компараторов. Это могло бы привести к срабатыванию верхнего компаратора раньше нижнего, к подаче на вход таймера высокого потенциала и повторному запуску таймера.

Во избежание срабатывания таймера при восходе солнца в верхний компаратор введена небольшая положительная обратная связь через резистор $R5$. Это приводит к появлению гистерезиса, что задерживает срабатывание, пока не переключится нижний компаратор. Высокий потенциал не может быть подан на оба выхода одновременно, и запуска таймера не произойдет.

Тем не менее к вечеру цикл начнет повторяться и компараторы вернутся в свое «ночное» состояние. Уровень срабатывания компараторов устанавливается точно переменным резистором $VR1$ «Чувствительность». Необходимо отрегулировать значение его сопротивления таким образом, чтобы наружное освещение включалось сразу после наступления сумерек.

Конструкция

В конструкции таймера используется печатный монтаж. Конфигурация печатной платы представлена на рис. 2, а размещение на ней элементов схемы — на рис. 3. Реле можно припаять непосредственно к плате или разместить в розетке для подключения освещения.

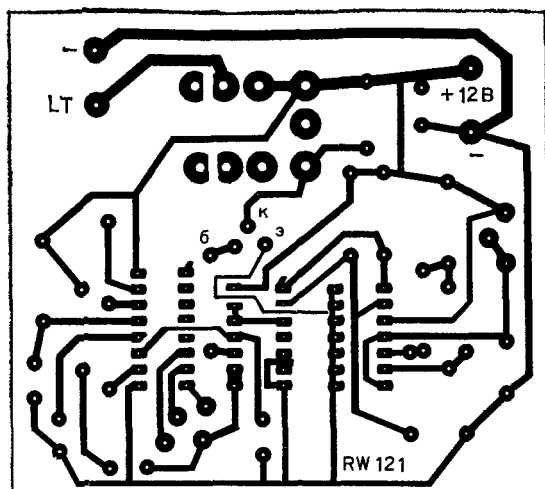


Рис. 2

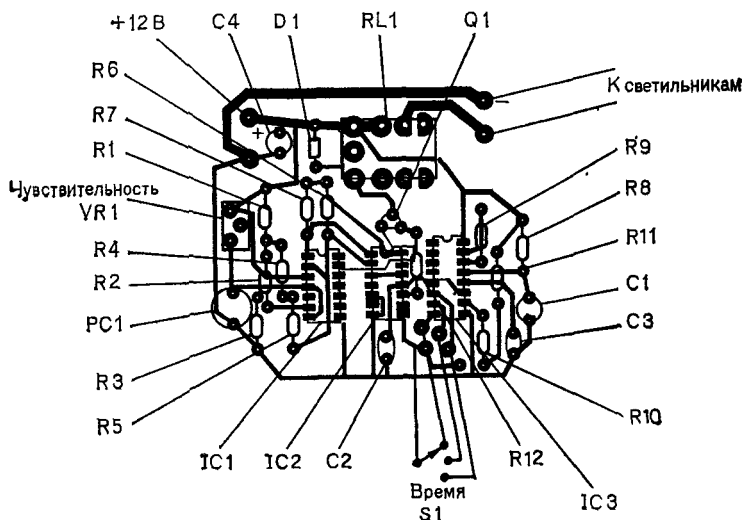


Рис. 3

Собранный таймер необходимо поместить в непрозрачную коробку, а фоторезистор *PC1* следует разместить на крышке так, чтобы на него попадали солнечные лучи. Таймер имеет всего три вывода: общую землю, провод для подключения питания $+12\text{ В}$ от аккумуляторной батареи и фазовый провод, подключаемый к осветительной системе. Необходимо убедиться в том, что все сделанные отверстия в корпусе надежно уплотнены и водонепроницаемы во избежание проникновения влаги.

Окончательное соединение конструктивных узлов

Теперь известны все элементы, необходимые для создания осветительной системы, кроме одного. Систему необходимо также снабдить регулятором заряда.

Без регулятора заряда не исключена возможность перезаряда аккумуляторной батареи и вызванного этим снижения срока ее службы. Подобная вероятность особенно велика в летнее время,

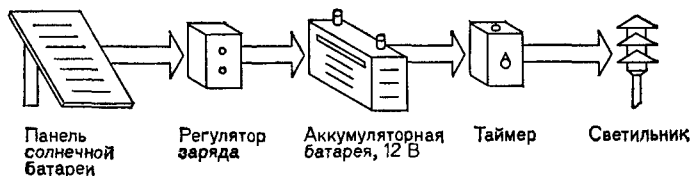


Рис. 4

когда дни продолжительны, а ночи коротки. В этих условиях наблюдается постепенное накопление заряда в аккумуляторных элементах, которое легко может привести к перезаряду.

Начать сборку системы можно с размещения фонарей на участке. Здесь нет никаких ограничений, можно установить фонари там, где от них будет больше пользы. Лампы соединяются параллельно с помощью толстых проводов. Если используется соответствующий комплект проводов, то необходимый провод обязательно входит в его состав. Если нет, то рекомендуется плоский осветительный кабель № 18.

Электрические провода, ведущие к фонарям, присоединяются к схеме таймера. Таймер необходимо разместить так, чтобы на него могли падать солнечные лучи, а не свет фар проезжающих автомобилей или иных внешних источников.

Таймер подключается к аккумуляторной батарее напряжением 12 В. От типа используемой батареи зависит ее срок службы. При желании можно воспользоваться автомобильным аккумулятором, но он долго не прослужит в тяжелых условиях периодической работы.

Лучше использовать лодочный аккумулятор. Подобные аккумуляторы созданы для работы в условиях многократных циклов глубокого разряда. Хотя они стоят несколько дороже, но прослужат гораздо дольше, чем обычный автомобильный аккумулятор.

Регулятор заряда включается между солнечной и аккумуляторной батареями. В качестве регулятора заряда прекрасно подойдет конструкция, описанная в гл. 6. Необходимо просто подключить выход регулятора к аккумулятору, а вход — к солнечной батарее, соблюдая полярность.

Лицевая панель солнечной батареи располагается в направлении на юг. Таймер устанавливается на время, в течение которого после захода солнца необходимо освещение. Возможно, для более полного соответствия погодным условиям потребуются подстройка таймера при смене сезонов. Теперь дорожки около дома будут освещаться даже после захода солнца.

Список деталей

Резисторы

R1, R3, R4, R5 — 100 кОм

R2 — 2,2 кОм

R6, R7, R11 — 10 кОм

R8 — 470 кОм

R9 — 22 кОм

R10 — 47 кОм

R12 — 1 кОм

Конденсаторы

C1 — 220 мкФ, 16 В

C2 — 0,05 мкФ

C3 — 0,1 мкФ

C4 — 100 мкФ, 16 В

Полупроводники

D1 — 1N4001

IC1 — LM339

IC2 — CD4011

IC3 — UA2240

Q1 — 2N2222

Остальные детали

PC1 — фотоэлемент на сульфиде кадмия (Radio Shack 726-116)

RL1 — реле (Radio Shack 275-218)

S1 — переключатель на три положения, одно направление

VR1 — потенциометр 10 кОм

Готовая печатная плата с высверленными отверстиями таймера внешнего освещения представляется фирмой Dapocinths, Inc, P O Box 261, Westland, MI 48185 за 10 долл. плюс 1,5 долл. за заказ и пересылку. Номер по каталогу RW121

СТИМУЛЯТОР РОСТА РАСТЕНИЙ

Солнечные элементы действительно поражают воображение, как только вспоминаешь о необыкновенном множестве их применения. В этой книге были уже описаны как миниатюрные солнечные элементы, питающие часы, так и сравнительно мощная солнечная батарея для системы электроснабжения высокоинтенсивных ламп накаливания. Действительно, область применения солнечных элементов достаточно широка.

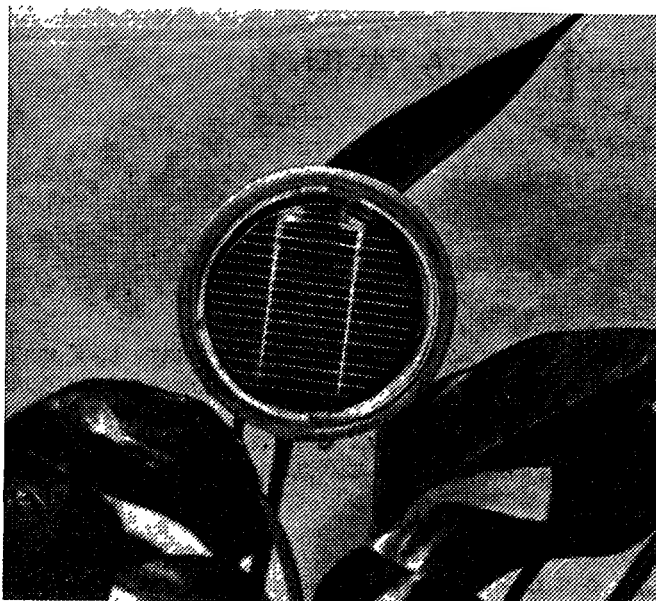
Ниже описывается применение, в которое трудно будет поверить. Речь идет о фотоэлектропреобразователях, стимулирующих рост растений. Звучит неправдоподобно?

Рост растения

Для начала лучше всего познакомиться с основами жизни растений. Большинству читателей хорошо известно явление фотосинтеза, который является основной движущей силой в жизни растений. По существу фотосинтез представляет собой процесс, благодаря которому солнечный свет позволяет осуществить питание растений.

Хотя процесс фотосинтеза значительно сложнее объяснения, которое возможно и уместно в данной книге, этот процесс заключается в следующем. Лист каждого зеленого растения состоит из тысяч отдельных клеток. Они содержат вещество, называемое хлорофиллом, которое между прочим и придает зеленую окраску листьям. Каждая такая клеточка является химическим заводом в миниатюре. Когда частица света, называемая фотоном, попадает в клетку, она поглощается хлорофиллом. Высвобождаемая при этом энергия фотона активизирует хлорофилл и дает начало ряду превращений, приводящих в конечном итоге к образованию сахара и крахмала, которые усваиваются растениями и стимулируют рост.

Эти вещества хранятся в клетке, пока не понадобятся растению. С уверенностью можно предположить, что количество питательных веществ, которыми лист может обеспечить растение, прямо пропор-



ционально количеству солнечного света, падающего на его поверхность. Это явление похоже на преобразование энергии солнечным элементом.

Несколько слов о корнях

Однако растению одного солнечного света недостаточно. Чтобы вырабатывать питательные вещества, лист должен иметь исходное сырье. Поставщиком таких веществ является развитая корневая система, через которую они всасываются из почвы¹⁾. Корни, представляющие собой сложную структуру, так же важны для развития растения, как и солнечный свет.

Обычно корневая система столь же обширна и разветвленна, как и растение, которое она питает. Например, может оказаться, что здоровое растение высотой 10 см имеет корневую систему, уходящую в землю на глубину 10 см. Конечно, так бывает не всегда и не у всех растений, но, как правило, это так.

Следовательно, было бы логично ожидать, что если бы удалось каким-либо образом усилить рост корневой системы, то верхняя

¹⁾ Не только из почвы, но и из воздуха. К счастью для человека и животных, растения дышат днем углекислым газом, которым мы постоянно обогащаем атмосферу, выдыхая воздух, в составе которого отношение углекислого газа к кислороду значительно увеличено по сравнению с воздухом, вдыхаемым нами. *Прим. ред.*

часть растения последовала бы ее примеру и на столько же выросла бы. В действительности так оно и происходит. Было обнаружено, что благодаря непонятному еще до конца действию слабый электрический ток действительно способствует развитию корневой системы, а следовательно, и росту растения. Предполагается, что подобная стимуляция электрическим током в самом деле дополняет энергию, получаемую обычным путем при фотосинтезе.

Фотоэлектричество и фотосинтез

Солнечный элемент, как и клетки листа при фотосинтезе, поглощает фотон света и преобразует его энергию в электрическую. Однако солнечный элемент в отличие от листа растения выполняет функцию преобразования намного лучше. Так, обычный солнечный элемент преобразует в электрическую энергию по крайней мере 10 % падающего на него света. С другой стороны, при фотосинтезе в энергию преобразуется едва ли не 0,1 % падающего света.

При подключении одного солнечного элемента к корневой системе растения имеет место стимуляция ее роста. Но здесь есть одна



Рис. 1

Есть какая-либо польза от стимулятора корневой системы? Это можно решить, взглянув на фотографию двух растений. Оба они одного типа и возраста, росли в идентичных условиях. У растения слева располагался стимулятор корневой системы.

Для эксперимента были выбраны саженцы длиной 10 см. Они росли в помещении при слабом солнечном освещении, проникающем через окно, расположенное на значительном расстоянии. Никаких попыток отдать предпочтение какому-либо растению не делалось, кроме того, что лицевая панель фотоэлектрического элемента была ориентирована в направлении солнечного света.

Эксперимент продолжался около 1 мес. Эта фотография сделана на 35-й день. Обращает внимание тот факт, что растение со стимулятором корневой системы более, чем в 2 раза крупнее контрольного растения.

хитрость. Она заключается в том, что стимуляция роста корней дает лучшие результаты у *затененных* растений.

Исследования показали, что для растений, освещаемых ярким солнечным светом, пользы от стимуляции корневой системы мало или нет совсем. Вероятно, это потому, что таким растениям вполне достаточно энергии, получаемой при фотосинтезе. По-видимому, эффект стимуляции проявляется лишь тогда, когда единственным источником энергии для растения является фотоэлектрический преобразователь (солнечный элемент).

Однако следует помнить, что солнечный элемент преобразует свет в энергию значительно эффективнее, чем лист при фотосинтезе. В частности, он может преобразовать в полезное количество электроэнергии свет, который для растения был бы просто бесполезен, например свет от люминесцентных ламп и ламп накаливания, ежедневно используемых для освещения помещений. Опыты также показывают, что у семян, подвергшихся воздействию слабого электрического тока, ускоряется прорастание и увеличивается число побегов и в конечном счете — урожайность.

Конструкция стимулятора роста

Все, что необходимо для проверки теории, — это один-единственный солнечный элемент. Однако еще потребуется пара электродов, которые можно было бы легко воткнуть в землю вблизи корней (рис. 2).

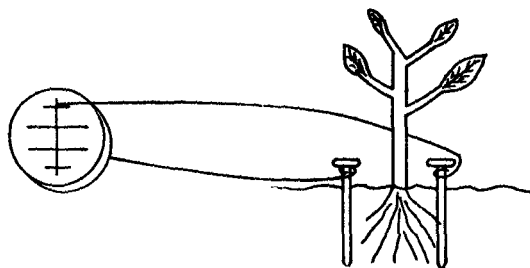


Рис. 2

Можно быстро и просто испытать стимулятор корневой системы, воткнув в землю вблизи растения пару длинных гвоздей и соединив их проводами с каким либо солнечным элементом

Размер солнечного элемента в принципе не имеет значения, поскольку сила тока, требуемая для стимуляции корневой системы, ничтожно мала. Однако для достижения наилучших результатов поверхность солнечного элемента должна быть достаточно большой, чтобы улавливать больше света. С учетом этих условий для стимулятора корневой системы был выбран элемент диаметром 6 см.

К диску элемента были подсоединены два стержня из нержавеющей стали. Один из них был припаян к тыльному контакту элемента, другой — к верхней токосъемной сетке (рис. 3). Однако использовать элемент в качестве крепления для стержней не рекомендуется, так как он слишком хрупок и тонок.

Лучше всего солнечный элемент закрепить на металлической пластине (преимущественно из алюминия или нержавеющей стали)

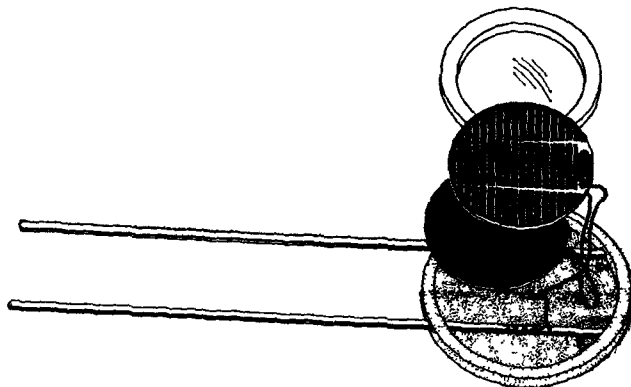


Рис. 3

несколько больших размеров. Убедившись в надежности электрического контакта пластинки с тыльной стороны элемента, можно подсоединить один стержень к пластине, другой — к токосъемной решетке.

Можно собрать конструкцию и по-другому: поместить элемент, стержни и все остальное в пластмассовый защитный футляр. Для этой цели вполне подойдут коробочки из тонкой прозрачной пластмассы (используемые, например, для упаковки юбилейных монет), которые можно найти в галантерейном, хозяйственном магазине или магазине канцелярских товаров. Необходимо лишь так укрепить металлические стержни, чтобы они не прокручивались и не гнулись. Можно даже залить все изделие жидким отверждающимся полимерным составом.

Однако следует иметь в виду, что при отверждении жидких полимеров происходит усадка. Если элемент и присоединенные стержни надежно закреплены, то никаких осложнений не возникнет. Плохо закрепленный стержень при усадке полимерного компаунда может разрушить элемент и вывести его из строя.

Элемент также нуждается в защите от воздействия внешней среды. Кремниевые солнечные элементы слегка гигроскопичны, способны впитывать небольшое количество воды. Конечно, со временем вода немного проникает внутрь кристалла и разрушает наиболее

подверженные воздействию атомные связи ¹⁾. В результате ухудшаются электрические характеристики элемента, и в конце концов он полностью выходит из строя.

Если элемент залит подходящим полимерным составом, можно считать проблему решенной. Другие способы крепления элемента требуют и других решений.

Эксперимент со стимулятором роста

Теперь, когда стимулятор готов, необходимо воткнуть два металлических стержня в землю вблизи корней. Все остальное сделает солнечный элемент.

Можно поставить такой простой эксперимент. Взять два одинаковых растения, желательно выращенных в аналогичных условиях. Рассадить их в отдельные горшки. В один из горшков воткнуть электроды стимулятора корневой системы, а второе растение оставить для контроля. Теперь необходимо одинаково ухаживать за обоими растениями, одновременно поливая их и уделяя им равное внимание.

Примерно через 30 дней можно заметить поразительное различие между двумя растениями. Растение со стимулятором корневой системы будет явно выше контрольного растения и на нем будет больше листьев. Этот эксперимент лучше всего проводить в помещении, используя лишь искусственное освещение.

Стимулятор можно использовать для комнатных растений, поддерживая их в здоровом состоянии. Садовод или человек, занимающийся разведением цветов, может использовать его для ускоренного прорастания семян или улучшения корневой системы растений. Независимо от вида использования данного стимулятора можно хорошо поэкспериментировать в этой области.

Список деталей

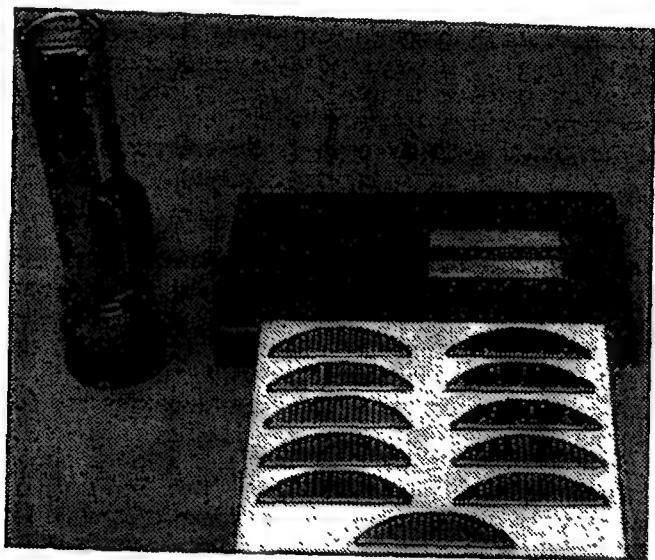
Солнечный элемент диаметром 6 см
2 стержня из нержавеющей стали
длиной около 20 см
Подходящая коробка из пластмассы
(см. текст)

Промышленный стимулятор корневой системы (Sun Stick) поставляется фирмой Silicon Sensors, Inc., Highway, 18 East, Dodgeville, WI 53533 за 7,5 долл. плюс 1,5 долл. за заказ и пересылку

¹⁾ Механизм деградации параметров солнечных элементов под воздействием влаги иной: прежде всего происходит коррозия металлических контактов и отслоение просветляющих покрытий, появление на торцах солнечных элементов проводящих перемычек, шунтирующих $p-n$ -переход. — *Прим. ред.*

ФОНАРИК С ПОДЗАРЯЖЕННЫМИ АККУМУЛЯТОРАМИ

Неизвестно почему, но каждый раз, когда возникает необходимость воспользоваться фонариком, батарейки в нем оказываются подсевшими. Знакомая ситуация? Видимо, многие из нас пользуются фонариком так редко, что батарейки постепенно саморазряжаются, и в результате когда они становятся нужными, оказывается, что они уже израсходовали свою энергию.



В этом случае негодные марганец-цинковые батарейки заменяются никель-кадмиевыми элементами. Остроумный выход, пока не потребуется фонарик и не обнаружится, что элементов в нем нет. Хорошо еще, если они со времени последнего использования были подключены к зарядному устройству или в крайнем случае если удастся отыскать их в темноте.

Короче говоря необходим всегда готовый к работе фонарик, т. е. батареи в нем должны быть свежезаряженными. Этому требо-

ванию удовлетворяет фонарик, подзаряжаемый от солнца. Нет необходимости вынимать из него батареи, они всегда находятся в заряженном состоянии.

Устройство фонарика

Хитроумной частью устройства является сам фонарик, который включает в себя магнитный держатель, который притягивается ко многим металлическим поверхностям. Держатель состоит из двух магнитных стержней, запрессованных в пластмассовый корпус. К каждому магниту был прикреплен изолированный провод и пропущен внутри трубки к элементам.

Другую часть конструкции составляет зарядное устройство с питанием от солнца. На поверхности зарядного устройства укреплены две стальные полосы, расстояние между которыми соответствует расстоянию между магнитными стержнями фонарика. Каждая полоска соединена с соответствующим выводом зарядного устройства. Когда фонарик не используется, его просто примагничивают к стальным полоскам зарядного устройства. Тем самым обеспечится электрический контакт между зарядным устройством и аккумуляторами фонарика, которые подзаряжаются от солнечных элементов. Когда необходимо использовать фонарик, его вместе со свежезаряженными батареями «отрывают» от зарядного устройства.

Никель-кадмиевые батареи

Никель-кадмиевые батареи, обычно называемые никель-кадмиевыми элементами, несколько отличаются от большинства сухих элементов, например марганец-цинковой батареи, обычно используемой в фонариках. Разряжаясь, батарея теряет часть своего напряжения. Этот эффект проявляется в яркости свечения лампочки фонарика. С разрядом батареи свечение становится все более тусклым, пока совсем не прекратится.

В отличие от этого никель-кадмиевые элементы довольно стабильно держат напряжение в течение разряда. Это можно заметить по постоянству свечения вплоть до глубокого заряда. После того как элемент разрядится, напряжение на нем быстро падает и свечение прекращается. На рис. 1 для сравнения приведена зависимость напряжения от степени разряда элементов двух упомянутых типов.

Как можно видеть, для определения оставшегося срока службы марганец-цинкового элемента необходимо просто измерить напряжение на нем. Для никель-кадмиевого элемента это не так просто сделать. Элемент, разрядившийся на 80%, выдает такое же напряжение, как только что подзаряженный элемент.

Таким образом, при подзарядке никель-кадмиевого элемента возникает некоторая сложность. Пока элемент полностью не раз-

рядится, мы не можем судить об его состоянии. Кроме того, никель-кадмиевые элементы весьма чувствительны к перезаряду, который



Рис. 1

может вывести их из строя. Таким образом, частично разряженный элемент ставит действительно сложный вопрос: какой заряд он может принять?

Подзарядка никель-кадмиевых элементов

Чтобы лучше понять принцип работы зарядного устройства, необходимо прежде всего ознакомиться с работой самого никель-кадмиевого элемента. Можно начать рассмотрение с полностью разряженного элемента. Чтобы его зарядить, необходимо через него пропустить ток.

Благодаря своей конструкции никель-кадмиевый элемент имеет довольно большое внутреннее сопротивление, которое обратно пропорционально количеству заряда, накопленного в элементе: чем меньше заряд, тем выше сопротивление.

Из-за наличия внутреннего сопротивления часть энергии зарядного тока превращается в тепло. Следовательно, необходимо начинать заряд с малого тока, иначе энергия, рассеиваемая на внутреннем сопротивлении в виде тепла, приведет к выходу элемента из строя.

По мере заряда внутреннее сопротивление элемента уменьшается. Чем меньше сопротивление, тем меньше рассеивается тепло и тем эффективнее протекает заряд элемента. Кроме того, теперь через элемент можно пропускать больший зарядный ток, что еще более ускорит процесс заряда. Практически можно закончить цикл заряда при токе, значительно превышающем начальный ток.

Однако весьма сложно регулировать и поддерживать такой режим заряда. Для простоты фирмы-изготовители рекомендуют максимально безопасную величину тока независимо от состояния батареи.

Для дисковых никель-кадмиевых элементов этот ток не превышает величины 330 мА. Даже полностью разряженный элемент, имеющий высокое внутреннее сопротивление, можно не опасаясь заряжать таким током. Однако до сих пор не получен ответ на вопрос: какое количество заряда не принесет вреда элементу?

Упомянутый выше зарядный ток можно поддерживать только до тех пор, пока батарея полностью не зарядится. Обычно на это требуется 4 ч. Если продолжить подзарядку, возникает опасность перезаряда элемента, которая может повлечь за собой снижение срока службы батареи или хуже — разрушение элемента. Таким образом, если батарея разряжена только наполовину, ее можно легко перезарядить, даже не зная об этом.

Вот почему фирмой-изготовителем рекомендуется медленная подзарядка. Для дискового элемента подзарядный ток не должен превышать 100 мА. При медленной подзарядке можно, не опасаясь перезаряда, заряжать элемент в течение рекомендованных 14 ч, необходимых для зарядки полностью разряженного элемента. Фактически можно постоянно слегка заряжать элемент, не опасаясь его разрушения: скорость заряда достаточно низка и избыточная энергия легко рассеивается элементом.

Зарядное устройство для батареи

В данном случае было решено выбрать малую скорость заряда батареи. Полная схема зарядного устройства и фонарика представлена на рис. 2. Для ограничения зарядного тока, протекающего через никель-кадмиевые элементы, в цепь была включена лампа накаливания.

Лампы накаливания с вольфрамовой нитью имеют специфическую характеристику. Холодная нить обладает весьма низким сопротивлением. По мере нагрева нити ее сопротивление увеличивается более чем в 10 раз. Включив такую лампу последовательно с никель-кадмиевыми элементами, можно частично скомпенсировать внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи.

При подключении полностью разряженной аккумуляторной батареи к солнечной батарее процесс заряда происходит следующим образом. Солнечная батарея создает в цепи ток, протекающий через никель-кадмиевые элементы и лампу накаливания. Ток ограничивается суммарным сопротивлением аккумуляторных элементов и нити лампы.

Сначала большая часть энергии поглощается батареей благодаря ее высокому внутреннему сопротивлению. Меньшая часть энергии выделяется на лампе, поскольку в этот момент ее нить имеет сравнительно низкое сопротивление порядка 7 Ом.

Независимо от внутреннего сопротивления никель-кадмиевые батареи имеют собственное предельное напряжение 1,5 В на эле-

мент. Другими словами, полное напряжение на аккумуляторной батарее *в процессе заряда* при любых условиях ограничено величиной порядка 3 В. При небольшом ограничивающем резисторе (соп-

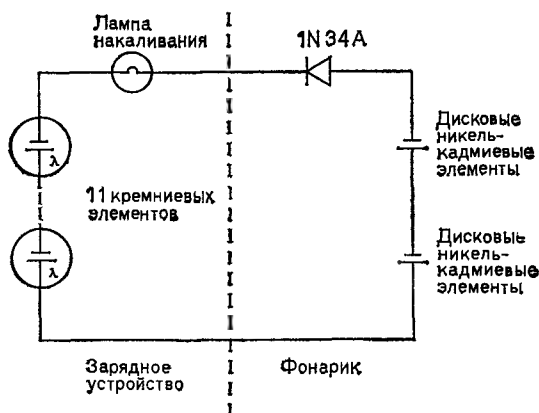


Рис. 2

противление нити накала лампы 7 Ом) аккумуляторные батареи быстро уменьшают выходное напряжение солнечной батареи примерно до 3 В.

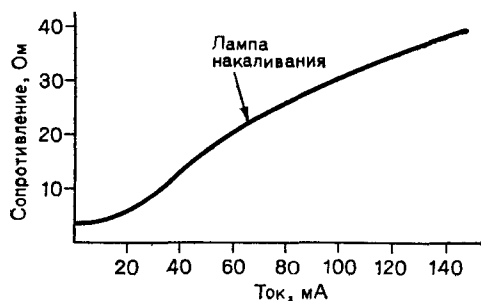


Рис. 3

По мере заряда аккумуляторной батареи ее внутреннее сопротивление уменьшается, что в свою очередь вызывает увеличение тока, протекающего через аккумуляторные элементы и через лампу, а также сопротивление лампы. Фактически лампа восполняет потерю сопротивления аккумуляторной батареи, и зарядный ток остается более или менее постоянным.

С увеличением сопротивления лампы напряжение на ней увеличивается. Но поскольку напряжение на батарее фиксировано, это приводит к постепенному увеличению выходного напряжения солнечной батареи.

Такая тенденция сохраняется до тех пор, пока аккумуляторная батарея не зарядится полностью. К этому моменту рабочая точка на вольт-амперной характеристике солнечной батареи сместится таким образом, что напряжение 2 В будет приложено к ограничивающей ток лампе. При этом напряжении сопротивление нити составляет 25 Ом, ограничивая зрядный ток величиной 80 мА. Никакого дальнейшего увеличения тока или напряжения происходить не будет, так как рабочая точка находится на изгибе вольт-амперной кривой фотоэлектрического преобразователя (рис. 3). Можно сказать больше: данный ток до того мал, что никель-кадмиевые элементы могут находиться под зарядом сколь угодно долго.

Помимо ограничения зарядного тока лампа является индикатором наличия процесса заряда. Яркое свечение соответствует большому току, протекающему через элементы. Слабое свечение или его отсутствие свидетельствует почти об отсутствии зарядного тока.

Солнечная батарея

5-вольтовая батарея прекрасно подходит по двум причинам: напряжения 5 В достаточно для зарядки никель-кадмиевых элементов и, кроме того, остается электроэнергия для световой индикации.

Простейшая солнечная батарея, состоящая из 11 элементов, более или менее соответствует приведенным выше требованиям. Для подобных устройств можно использовать небольшие серповидные элементы, так как они очень дешевы и развивают достаточную мощность. Такие элементы обычно генерируют ток 80—100 мА.

Требования к солнечной батарее достаточно мягкие, тем не менее она должна совместно с лампой обеспечивать регулирование. Хотя солнечная батарея позволяла генерировать 5 В при токе 80 мА, выбор был достаточно произволен.

Если имеется солнечная батарея, генерирующая 6 В при токе 100 мА или более, то она будет прекрасно работать. Дополнительное напряжение рассеется на лампе, поддерживая ток на требуемом уровне.

Конструкция зарядного устройства

Основание зарядного устройства изготавливается из прямоугольного куска древесины размером 5×10 см² (подойдет любой короткий брус). Если предпочтение отдается теплым тонам, то можно выбрать брус из красного дерева или использовать окрашенный сосновый или еловый брус. Окончательно изделие выглядит, как показано на рис. 4.

На лицевой поверхности основания закреплены две стальные полоски. Подойдет любой магнитный материал, например стальная

лента, используемая для окантовки деревянной тары. Такая сталь тонка, упруга и является хорошим проводником электричества.

Сначала к нижним сторонам полосок необходимо припаять проводники, а затем просверлить для них отверстия в бруске. Полоски располагаются на том же расстоянии, что и магниты на фонарике, и приклеиваются к основанию клеем или эпоксидной смолой.

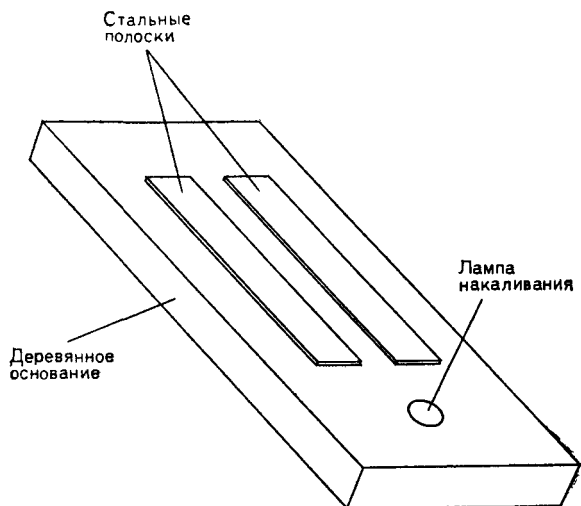


Рис. 4

Один из проводников подсоединяется к солнечной батарее, другой припаявается к цоколю лампы. Оставшийся вывод солнечной батареи присоединяется к внешней (резьбовой) части индикаторной лампы. Наконец, в нижней части основания просверливается отверстие диаметром 0,9 см, в него вставляется и приклеивается сигнальная лампа.

Для проверки устройства необходимо просто накоротко соединить контактные полоски проволокой, при этом должна загореться лампа. Если фотоэлектрический преобразователь освещается солнцем, лампа будет ярко светиться.

Доработка конструкции фонарика

Наконец необходимо видоизменить конструкцию фонарика. Принцип ясен из рис. 5. Сначала нужно присоединить к каждому магнитному стержню по *гибкому* проводнику. Это можно сделать по-разному, в зависимости от конструкции конкретного фонарика. Можно припаять проводники, используя достаточное количество флюса и стараясь не расплавить пластмассовый корпус. Можно про-

сверлить отверстия в магнитных стержнях (если, конечно, к ним имеется доступ) и закрепить в них проводники небольшими винтиками или заклепками.

После этого необходимо в корпусе фонарика просверлить отверстие, чтобы можно было протянуть проводники внутрь. Если корпус фонарика металлический, проводники для предотвращения истирания изоляции и короткого замыкания защищаются с помощью изоляционной втулки (или другого подходящего элемента). С пластмассовым фонариком работы, конечно, меньше.

Один проводник припаивается к центральному выводу патрона лампы фонарика так, чтобы после повторной сборки был обеспечен

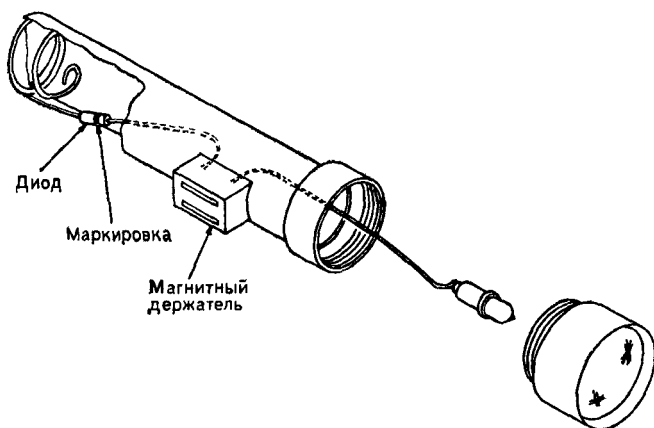


Рис. 5

прежний надежный контакт между положительным выводом батареи и цоколем лампы (проводник прокладывается на некотором расстоянии от вращающихся частей).

Второй проводник от магнитного стержня пропускается в основание корпуса фонарика, где расположена пружина. Необходимо обрезать его по длине и вынуть пружину. В цепь включается диод. Маркированный полоской вывод диода припаивается к проводнику, а анодный (немаркированный) вывод — к пружине. Диод размещается вблизи более широкого конца пружины так, чтобы при сжатии она не могла его повредить. На диод надевается кусочек гибкой пластмассовой трубочки, чтобы избежать короткого замыкания на корпус фонарика.

Диод выполняет две функции. Во-первых, он предохраняет аккумуляторную батарею от разрядки через солнечную батарею в ночное время. Во-вторых, при подключении фонарика к зарядному устройству в обратной полярности диод не пропустит тока и предохранит батареи от противозаряда.

Теперь необходимо окончательно собрать фонарик, он готов к работе. Лучше всего разместить зарядное устройство на стене так, чтобы линза фонарика была обращена вниз и не загрязнялась.

Некоторые рекомендации

Необходимо удостовериться в соблюдении полярности при подключении фонарика к зарядному устройству. При одной полярности будет иметь место заряд, при другой — отсутствовать из-за блокирующего диода.

Если фонарик не заряжается, необходимо поменять местами проводники, идущие от солнечной батареи.

Еще один совет: никель-кадмиевые элементы, к сожалению, обладают «памятью», например могут запомнить разрядный цикл. Допустим, фонарик используется в течение 15 мин в день, а затем снова подзаряжается. Аккумуляторная батарея запомнит это и будет «лениться».

Ей «покажется», что ее рабочий день равен 15 мин. А что произойдет, если фонарик потребует в течение 30 мин или более? Он перестанет работать через 15 мин! Стоит батареям отработать полностью 15 мин, и они откажутся служить дольше.

Чтобы избежать этого, необходимо периодически включать фонарик и *полностью* разряжать батареи, а затем снова подключать их к зарядному устройству. Полный заряд батарей должен длиться в течение 2 ч.

Список деталей

Фонарик с магнитным держателем
2 круглых никель-кадмиевых элемента
Диод 1N34A

Зарядное устройство
Деревянный брусок размером $5 \times 10 \times 20$ см³
2 стальные полоски (длинной примерно 5—6 см)

Сигнальная лампа

11 кремниевых солнечных элементов, генерирующих в обычных условиях 80—100 мА (см. текст)

ОХРАННАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ

Охранная и сторожевая сигнализации являются всегда популярной темой книг для любителей самоделок, и поэтому автор не удержался от соблазна включить в книгу описание одного из таких устройств. К сожалению, большинство конструкций являются типичным, уже много раз повторенными комбинациями, включающими в себя фотодетектор и реле.

Никто не собирается критиковать схему сигнализации, однако для ее работы требуется источник питания, который порой найти не очень просто.

Поскольку данная книга посвящена фотоэлектричеству и устройствам питания, использующим фотоэлектрические преобразователи, то, кажется, единственно правильной предпосылкой будет рассмотреть источник света, который сам послужит источником энергии и обеспечит его схему детектора, расположенную на некотором расстоянии от него.

Фактически такая охранная сигнализация полностью питает сама себя.

Принцип работы устройства

Необходимо начать с источника света. Луч света направляется вдоль дверного проема, окна или комнаты, образуя охранную зону. На приемном конце солнечный элемент обнаруживает наличие светового луча и преобразует его в электроэнергию.

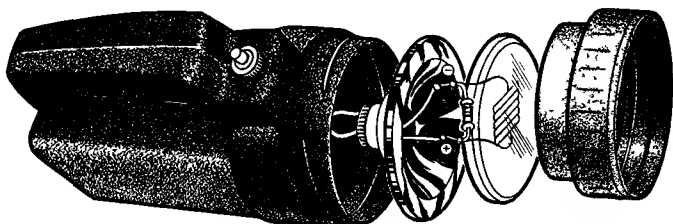
Солнечный элемент играет главную роль в работе устройства; он не только обнаруживает свет, но и обеспечивает энергией саму схему сигнализации.

Весь секрет заключается в выборе схемы сигнализации, которая была специально разработана с целью обеспечения минимального потребления энергии. Благодаря такой характеристике схемы выходной сигнал солнечного элемента одновременно используется в качестве полезной информации о световом пучке и для энергопитания всего устройства.

Принципиальная схема

Схему сигнализации можно условно разделить на три части. Начнем рассмотрение с фотоэлектрического преобразователя.

Фактически под солнечным элементом, о котором говорилось до сих пор, подразумевалась солнечная батарея из пяти элементов, соединенных последовательно. Полное выходное напряжение батареи составляет 1,6 В при токе около 1 мА в зависимости от реальной освещенности элементов.



Прежде всего солнечная батарея должна обеспечить питанием схему сигнализации. Это достигается зарядкой небольшой аккумуляторной никель-кадмиевой батареи. Цепь заряда содержит солнечную батарею, диод $D1$ и аккумуляторную батарею. Когда на поверхность солнечной батареи падает «охранный» световой луч, аккумуляторная батарея заряжается током, протекающим через диод $D1$.

Из предыдущей главы известно, что аккумуляторная батарея будет понижать зарядное напряжение примерно до 1,35 В. С этой точки зрения аккумуляторную батарею фактически можно рассматривать как стабилитрон. С учетом падения напряжения 0,3 В на диоде $D1$ напряжение самой солнечной батареи стабилизируется на уровне 1,65 В.

Ток от солнечной батареи протекает также через сопротивления $R1$ и $R2$. Величина этого тока составляет менее 250 мкА, в то время как большая часть тока идет на зарядку аккумуляторной батареи.

Резисторы $R1$ и $R2$ являются важной составной частью схемы детектирования. Рассмотрим все по порядку (рис. 1).

При протекании тока через $R1$ и $R2$ происходит деление напряжения. Сопротивления резисторов $R1$ и $R2$ подобраны так, чтобы при освещении солнечных элементов на резисторе $R1$ падение напряжения составляло лишь около 0,21 В. Это напряжение складывается с падением напряжения на диоде $D1$ (0,3 В), в результате разность потенциалов между базой и эмиттером транзистора $Q1$ составляет 0,51 В.

Поскольку $Q1$ — кремниевый транзистор с минимальным напряжением смещения 0,7 В, то напряжение на базе слишком мало, чтобы открыть транзистор. При освещении солнечной батареи светом транзистор заперт и через него не течет никакого тока.

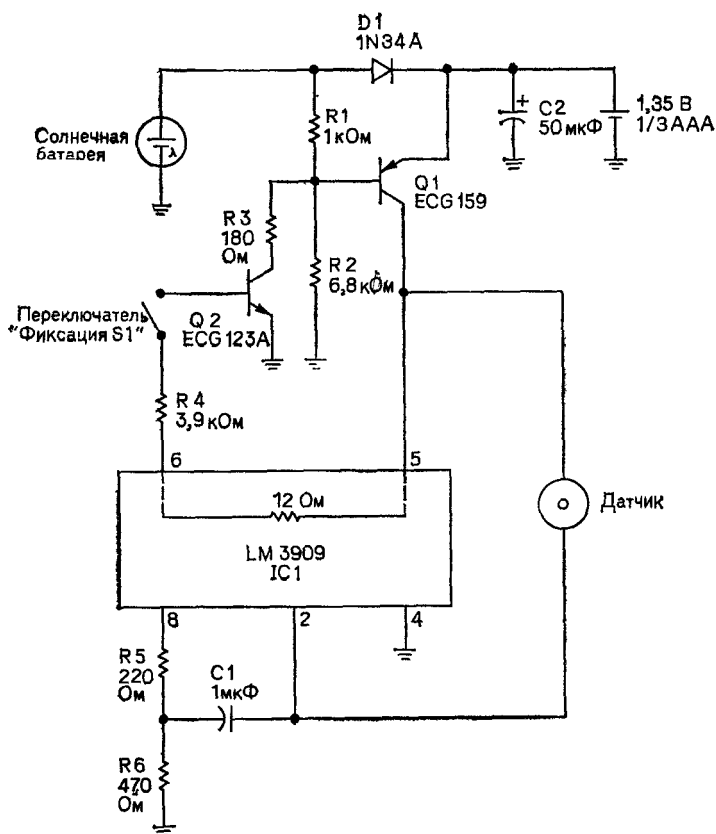


Рис. 1

Однако при прерывании светового пучка ток от фотоэлектрического преобразователя прекращается, следовательно, через резистор $R1$ не течет никакого тока. Прекращается ток также через диод $D1$.

При этом произойдет следующее: $R1$ станет высокоимпедансным источником, $D1$ — обратносмещенным диодом (из-за исчезновения напряжения от солнечного элемента) и ток потечет через $R2$ и переход база—эмиттер транзистора $Q1$. Теперь появится и коллекторный ток.

Коллекторный ток поступает на микросхему $IC1$ (генератор сигнала тревоги). В данной конструкции используется именно эта микросхема, поскольку она работает при крайне низком напряжении питания и потребляет весьма малый ток. При напряжении питания 1,5 В (характерном для сигнализации) микросхема LM3909 переходит в неустойчивое состояние и, следовательно, будет находиться

в режиме генерации. Значения компонентов $R5$, $R6$ и $C1$ определяют частоту генерации.

Микросхема LM3909 содержит также выходной каскад усиления мощности. Подключая акустический преобразователь (громкоговоритель) между выходом генератора (вывод 2) и плюсовой клеммой батареи, при работе генератора можно услышать громкий, хорошо различимый сигнал.

При прерывании светового луча схема детектора сразу же срабатывает и раздается звуковой сигнал. Когда световой луч восстанавливается, транзистор $Q1$ выключается и генерация прекращается. Таким образом, схема играет роль колокольчика, звящего при открывании двери или калитки.

Фиксация срабатывания сигнализации

Если автоматическое восстановление схемы нежелательно, например, в системе охранной сигнализации, в базовое устройство вводится схема фиксации. Это в основном элементы схемы $R3$, $Q2$ и $R4$, однако вся хитрость работы схемы фиксации определяется микросхемой LM3909.

Внутри микросхемы между выводами 5 и 6 включен резистор сопротивлением 12 Ом. Пока на плюсовой вывод 5 не подано напряжение, на выводе 6 оно будет также отсутствовать. Это — состояние схемы до фиксации.

Когда луч света прерывается, включается транзистор $Q1$ и подает питание на вывод 5, запуская генератор. На выводе 6 также появляется потенциал. Если переключатель «фиксация $S1$ » включен, то напряжение с вывода 6 через резистор $R4$ поступает на базу транзистора $Q2$. Через транзистор $Q2$ и резистор $R3$ начинает течь ток, еще более увеличивая ток, уже текущий через базу транзистора $Q1$.

Если даже с солнечного элемента вновь поступает напряжение, путь протекания тока, генерируемого солнечными элементами, значительно изменяется. В результате сопротивление резистора $R1$ уже не меньше сопротивления резистора $R2$ и падение напряжения на $R1$ увеличивается. Эффективное сопротивление $R2$, $R3$ и $Q2$ становится малым по сравнению с $R1$, и солнечные элементы не способны вывести транзистор $Q1$ из состояния насыщения. Таким образом, сигнал тревоги будет подаваться даже при восстановлении светового луча. Его можно отключить только выключателем $S1$.

Конструкция охранной сигнализации

Основой конструкции является батарея, составленная из пяти миниатюрных солнечных элементов, соединенных последовательно и внешне напоминающих черепичную крышу. Понятно, что можно

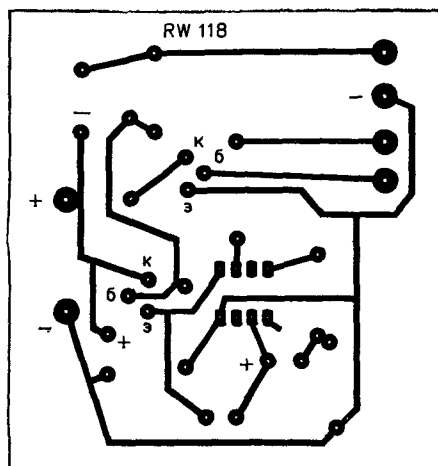


Рис. 2

использовать достаточно миниатюрные элементы, поскольку от них потребуется минимальный ток. Такую батарею изготовить непросто без достаточного владения техникой резки элементов и соответствующих для этого приспособлений. Настоятельно рекомендуется приобрести готовую батарею, указанную в списке деталей.

Для увеличения дальности действия охранной сигнализации солнечные элементы снабжаются параболическим зеркалом. Зеркало собирает лучи света с большого пространства и фокусирует их на элементах. Для этой цели был использован переносной фонарик, и вы можете сделать тоже самое.

Необходимо выбрать фонарик с наибольшей апертурой линзы ¹⁾, которую можно найти,—это важно. Затем разобрать узел отражателя и удалить лампочку.

Теперь солнечная батарея приклеивается изнутри к прозрачной защитной линзе в ее центре, *тыльная* сторона батареи при этом должна быть обращена к линзе. Линза устанавливается на место так, чтобы солнечная батарея располагалась против отверстия от лампочки. Через это отверстие пропускаются два проводника от батареи, а затем закрепляется отражатель.

Конечно, батарея загромождает собой значительную часть прозрачной линзы, и из-за этого необходимо выбрать возможно больший отражатель. Можно также уменьшить размеры отдельных солнечных элементов и снизить габариты батареи.

¹⁾ В такой конструкции линза не только концентрирует световые лучи, но и защищает зеркальный отражатель от механических повреждений и влаги.— *Прим. перев.*

Поскольку выводы серийных солнечных батарей не имеют цветовой маркировки, необходимо самим определить их полярность. Провод, припаянный к лицевой поверхности нижнего элемента, имеет отрицательную полярность и присоединяется к корпусу. Другой провод, припаянный к тыльной поверхности верхнего элемента, имеет положительную полярность¹⁾.

Детекторный и генераторный узлы устройства размещаются на печатной плате, представленной на рис. 2, а размещение деталей на ней — на рис. 3.

Все детали припаиваются к плате, за исключением солнечной батареи. Если ее присоединить, то сработает сигнализация. При

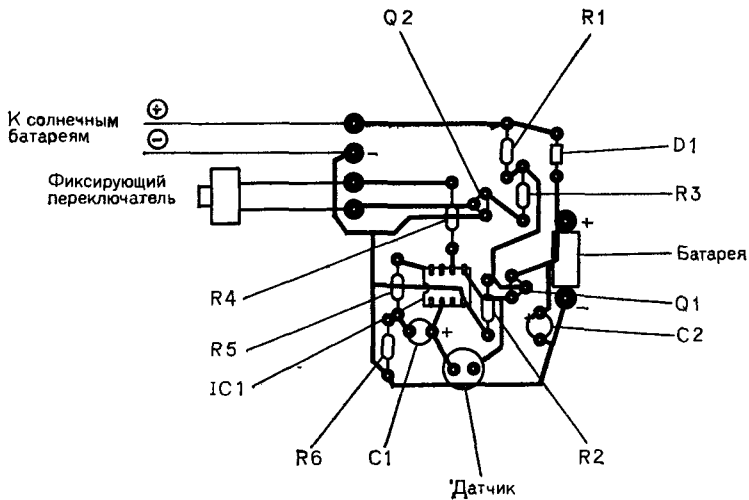


Рис. 3

желании можно последовательно с батареей установить выключатель, позволяющий отключать сигнализацию, когда ею не пользуются.

Печатная плата устанавливается в отсек фонарика, предназначенный обычно для батареек. Необходимо разместить плату так, чтобы акустический преобразователь сообщался с внешним пространством, в противном случае его пронзительный звук будет приглушен. Кроме того, сверлится отверстие в корпусе для переключателя «фиксация». Необходимо закрепить проводники, идущие от

¹⁾ Подобное распределение полярности электрических выводов характерно для солнечных элементов с $p-n$ -переходом, у которых верхний освещаемый слой n -типа; для солнечных элементов, изготовленных из базового исходного кремния n -типа, верхний слой p -типа и полярность выводов будет обратной той, которая указана в тексте. — Прим. ред.

солнечных элементов, и аккуратно собрать фонарик, на этот раз припаяв батарею к схеме. Охранное устройство готово к работе.

Если монтаж выполнен правильно, система будет выдавать пронзительный сигнал тревоги. Чтобы ее «успокоить», необходимо выключить фиксацию срабатывания и осветить поверхность солнечных элементов. Сделать это просто: до установки системы на предназначенное для нее место она помещается под настольную лампу.

Установка охранной сигнализации

Типичная схема установки охранного устройства в дверном проеме представлена на рис. 4. Она закрепляется на высоте 60 см, достаточной для большинства случаев. Луч света направляется так, чтобы он перекрывал проход в помещении.

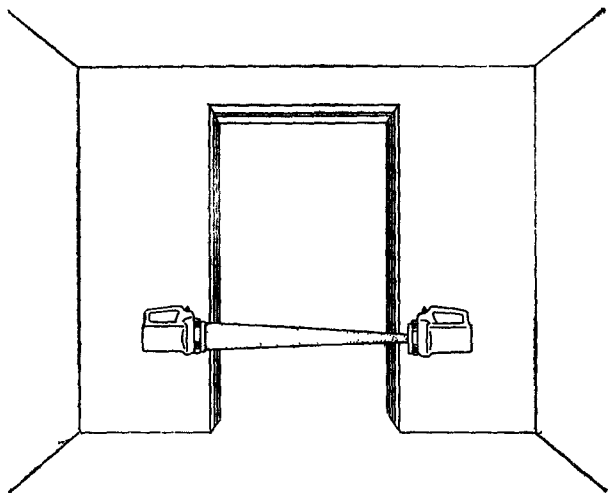


Рис. 4

Теперь необходимо установить устройство сигнализации на противоположной стороне проема. Возможно, потребуется подрегулировать направление луча света, чтобы он точно падал на поверхность солнечных элементов. Это легко установить: при точном наведении луча сигнал тревоги прекратится.

В качестве источника света можно использовать любой мощный фонарь. Для этой цели был взят такой же фонарик, что и для размещения схемы сигнализации. Батарея была заменена 6-вольтовым понижающим трансформатором, причем один вывод 6-вольтовой обмотки был подсоединен к лампочке, а другой — к сети.

Если имеется желание сделать луч света незаметным, можно использовать инфракрасный светофильтр. Даже красный целлофан сделает луч менее заметным. Поскольку кремниевый солнечный элемент обладает значительной чувствительностью в красной и инфракрасной областях спектра, потеря в чувствительности будет незначительной. Тем не менее необходимо учитывать ослабление, вносимое фильтром: нельзя ожидать, что дальность действия системы останется прежней.

Следует обратить внимание на то, что, если фильтр закроет поверхность светоизлучателя, может произойти его нагрев. Степень нагрева зависит от вида фильтра и его пропускания. При сильном нагреве возможно возгорание.

Использование источника света, питаемого от сети переменного тока, имеет дополнительное достоинство: схема сигнализирует о прекращении подачи электроэнергии.

Список деталей

Резисторы

R1—1 кОм
R2 — 6,8 кОм
R3 — 180 Ом
R4 — 3,9 кОм
R5—220 Ом
R6—470 Ом

Конденсаторы

C1—1,0 мкФ В

Полупроводник

D1—1N34A
IC1—LM3909
Q1—ECG 159
Q2 — ECG 123A

Остальные детали

S1—SPST переключатель

Солнечная батарея — (Edmund Scientific, номер по каталогу C42,464)
Акустический преобразователь — 45-омный громкоговоритель (Panasonic EAF-14R06)

Никель-кадмиевая батарея — тип 1/3 AAA

Портативный переносной фонарик (см. текст)

Протравленная печатная плата с высверленными отверстиями для охранной сигнализации поставляется фирмой Danocinths, Inc., P. O. Box 261, Westland, MI 48185 за 8,2 долл. плюс 1,5 долл за заказ и пересылку. Номер по каталогу RW118

РОБОТ

Детство оставляет след в каждом из нас независимо от возраста; оно чаще всего ассоциируется с любовью к игрушкам.

По-видимому, любовь к таким игрушкам, как роботы, завлела нами позднее под влиянием всеобщего интереса к исследованию космоса, однако, чем больше причин побуждает нас увлекаться роботами, тем лучше. В этой главе предоставляется возможность встретиться с маленьким обаятельным роботом-другом по имени Харви. Игра с ним доставляет массу удовольствий, но не менее интересно сделать его самому.

Хотя большинство роботов обладают широкими возможностями, Харви в этом смысле менее выдающийся. Он прямодушный индивидум, имеющий одну цель: следовать вдоль белой линии. Фактически он будет без усталости идти по намеченному пути вокруг земного шара и вернется обратно. Кроме того, он «питается» от солнца.

Управление роботом

Любой робот должен обладать подвижностью, т. е. передвигаться с места на место, а также навигационными способностями в процессе движения.

Эти два различных, но взаимосвязанных требования выполняются с помощью двух отдельных устройств. Первое управляет механическим перемещением робота. Для этого используются сервомеханизмы.

Сервопривод — это механическая часть робота, аналогичная мышцам человека. Для Харви требуются две сервосистемы: одна — для движения вперед (подобно двигателю автомашины), другая — для управления движением.

Совместную работу этих двух систем не всегда просто обеспечить. Проблема решается двумя способами. В первом из них обе функции объединены в одну. Обратимся для объяснения к рис. 1.

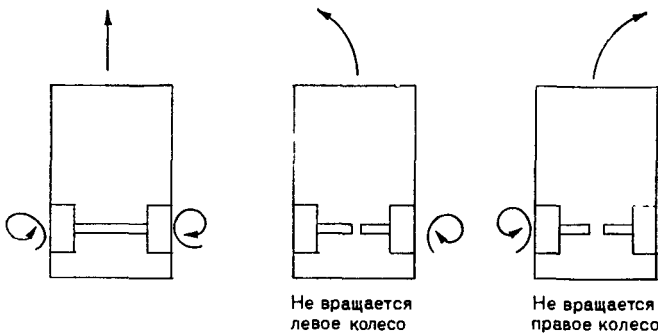


Рис. 1

Система активного управления движением

Чтобы передвигать тележку (робот Харви), проще всего насадить ведущие колеса на ось и вращать ее. Предназначенные для этого устройства изобретены давно, к ним относятся цепные, клиноременные и шестереночные передачи, прямой привод (от мотора). При вращении обоих колес с одинаковой скоростью робот будет двигаться вперед по прямой линии (естественно, если оба колеса одинакового диаметра). Скорость передвижения робота пропорциональна скорости вращения колес.

Рассмотрим случай, когда скорости вращения колес *неодинаковы*. Этого можно достичь, разделив ось пополам и снабдив каждое колесо отдельным приводом. Как и прежде, робот перемещается по прямой, если оба колеса вращаются с одинаковой скоростью.

Если скорость вращения одного колеса, например левого, уменьшится, тележка повернет налево. Почему? Вся причина заключается в том, что колесо, вращающееся с меньшей скоростью, фактически образует точку опоры (пусть даже и перемещающуюся), вокруг которой движется другое колесо с большей скоростью вращения. Практически если полностью остановить левое колесо, то тележка будет описывать на месте небольшой круг радиусом, равным расстоянию между колесами.

Подобным же образом замедленное вращение правого колеса относительно левого приводит к повороту робота направо. Фактически здесь объединяются функции двух механизмов в одном. Раздельное изменение скорости вращения колес обеспечивает не только передвижение тележки, но и управление направлением движения.

Во многих роботах чаще всего используется кратковременное отключение вращения от одного, то другого колеса и тем самым достигается необходимое управление движением. Такому принципу дви-

жения сопутствует небольшая тряска, однако, если время, в течение которого колесо не вращается, достаточно мало, рывки сглаживаются и движение становится относительно плавным

Пассивное управление движением

Во втором методе функции передвижения и управления разделены. Для обеспечения прямолинейного движения имеется одна фиксированная ось, а для изменения направления используется переднее поворотное рулевое колесо (или пара колес). На этом принципе основано управление автомобилем.

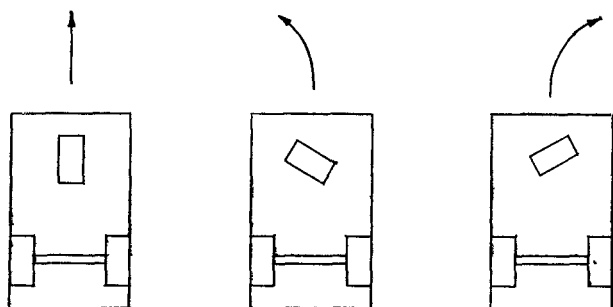


Рис. 2

Когда поворотное колесо располагается параллельно ведущим колесам, робот передвигается точно вперед (рис. 2). Поверните колесо влево — и он повернет налево, поверните вправо — робот повернет направо, совсем как автомобиль.

Преимуществом данного метода является наличие плавного управления. Робот может поворачиваться постепенно или сразу, при этом задние колеса никогда не должны останавливаться.

По причинам, которые станут понятными позднее, этот метод и был выбран для управления роботом Харви. В этом случае рулевое колесо приводится в движение небольшим электромотором.

Электронное управление

Мы пришли к следующему этапу создания робота — следящей управляющей системе. Без определенной доли смысленности Харви просто беспорядочно «рыскал» бы из стороны в сторону. Чаще всего управление мотором — дело электроники.

Чтобы «видеть» белую линию Харви, необходимы «глаза». Глаза Харви — пара фототранзисторов Q1 и Q2, показанные на рис. 3. Фототранзистор — это обычный транзистор, у которого верхняя часть корпуса удалена, а база освещается светом. Свет обычно фо-

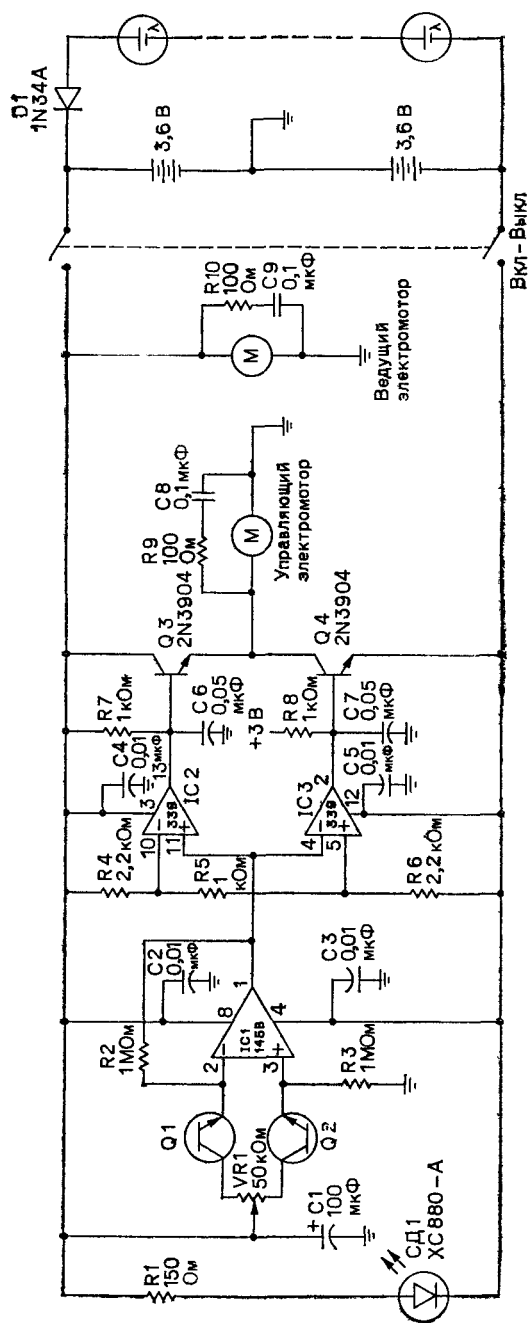


Рис. 3

кусируется на p — n -переходе с помощью линзы, которая одновременно служит крышкой для корпуса транзистора.

Когда свет падает на базовую область, через транзистор течет коллекторный ток, пропорциональный интенсивности света. Другими словами, сигнал, обычно поступающий на вывод базы, генерируется теперь падающим светом. В большинстве случаев, к которым относится и наш, фототранзистор имеет лишь два вывода, а вывод базы отсутствует.

Фототранзисторы подключены к операционным усилителям (ОУ) по схеме преобразователя ток—напряжение. Как известно из основ электроники, операционный усилитель является усилителем тока.

Выходное напряжение усилителя зависит от тока, протекающего через инвертирующий вход. При обычной схеме включения выходной сигнал подается обратно на инвертирующий вход, на котором происходит суммирование сигнала. При равенстве тока обратной связи и входного тока усилитель находится в состоянии равновесия. Если в цепь обратной связи включить резистор (R_2 на рис. 3), падение напряжения на этом резисторе будет пропорционально протекающему через него току. Это напряжение, кроме того, пропорционально входному сигналу и снимается с вывода на выходе ОУ.

К тому же ОУ имеет еще одну интересную особенность, которой мы воспользовались. Имеется в виду наличие *дифференциальных* входов. Особенность их состоит в том, что сигнал, поданный на неинвертирующий дифференциальный вход, фактически будет вычитаться из сигнала на инвертирующем дифференциальном входе. Происходит что-то вроде уравнивания.

Когда входные токи на выводах 2 и 3 равны, они взаимно уничтожаются и для балансировки схемы тока обратной связи не требуется. Следовательно, падение напряжения на резисторе R_2 равно нулю даже при наличии сигнала.

Величины входных токов определяются коллекторными токами фототранзисторов Q_1 и Q_2 . При равной облученности транзисторов светом текут равные токи. Поскольку невозможно подобрать пару транзисторов с идеально совпадающими характеристиками, то для устранения небольшого различия между обоими «глазами» Харви в схеме используется переменный резистор VR_1 .

Фототранзисторы размещаются на небольшой панели, подобной показанной на рис. 4, и разделяются перегородкой, на которой расположен мощный инфракрасный светодиод СД1. Поскольку фототранзисторы отгорожены от этого источника света, его излучение *непосредственно* на них не попадает.

Если же приблизить устройство к отражающей поверхности, все изменится. Свет отражается от поверхности и детектируется фототранзисторами. Количество попадающего на фототранзисторы

света зависит от оптических свойств отражающей поверхности. Подобный принцип лежит в основе зрения Харви.

От зеркальной светлой поверхности отразится больше света, чем от темной. Наибольшей отражающей способностью обладает поверхность белого цвета, отражающая способность всех остальных цветов уменьшается в зависимости от их коэффициента поглощения. Поверхность черного цвета отражает меньше всего света.

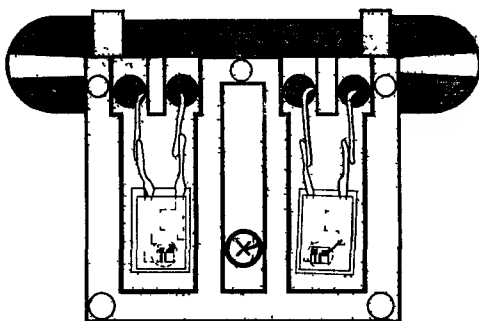


Рис. 4

Проанализировать принцип действия Харви можно с помощью белой линии на темном фоне.

Для начала поместим робота точно над белой линией, так чтобы фотодатчики одинаково реагировали на ИК-излучение. Тогда на выходе схемы IC1 напряжения не будет. Если сдвинуть робота влево или вправо, соответствующий фототранзистор сместится с белой линии и, следовательно, получит меньше света по сравнению с другим. На выходе операционного усилителя появится напряжение той или иной полярности.

Теперь у нас имеется сигнал, соответствующий положению робота относительно белой линии при его движении по этому «шоссе».

Выходное напряжение операционного усилителя подается на два компаратора, IC2 и IC3, включенные по схеме *двухпорогового* устройства. При таком включении на обоих выходах — низкий потенциал, если входное напряжение лежит в определенных пределах, установленных делителем на резисторах R4, R5 и R6.

Если выходное напряжение ОУ становится меньше нижнего предела установленного диапазона, компаратор на микросхеме IC3 срабатывает и на его выходе устанавливается высокий потенциал. Базовым током открывается транзистор Q4 и подсоединяет рулевой мотор к отрицательному выводу ($-3В$) источника питания. Мотор в свою очередь, изменяя угол поворота рулевого колеса, устраняет смещение светоприемной поверхности фототранзисторов относительно белой линии.

То же самое происходит, когда напряжение на выходе ОУ превышает верхний предел. Срабатывает компаратор на микросхеме IC2 и включает транзистор Q3. Теперь рулевой мотор подключается к положительному выводу (+3В) источника питания и вращается в противоположном направлении, еще раз компенсируя отклонение от курса. Если выходное напряжение ОУ равно нулю, оба транзистора, Q3 и Q4, закрыты.

Изготовление робота Харви

Теперь, закончив знакомство с основными системами робота, мы подошли к давно уже ожидаемому этапу конструирования вашего собственного робота Харви. Создание робота потребует несколько больше усилий, чем большинство самоделок, описанных в этой книге, особенно если использовать различные подручные материалы. Должен признаться, что я существенно упростил дело.

Я зашел в ближайший магазин радиодеталей в первый день Нового года и *купил* (это лучше, чем делать его самому) игрушечный телеуправляемый автомобиль, имеющий уже все готовые механические узлы. Я выбрал неисправный, возвращенный в магазин после праздников автомобиль, который собирались выбросить. В игрушке отсутствовал блок передатчика, но все моторы и механизм управления движением были исправны и находились в рабочем состоянии. Прежде всего покупка сэкономила много времени и денег.

Теперь, когда моя совесть чиста и я сознался, каким образом мне удалось ускорить работу над созданием робота, давайте продолжим. Сначала выньте все лишнее из автомобиля. Необходимо оставить только шасси с колесами, мотор ведущих колес и устройство рулевого управления со своим мотором. В автомобиле обычно имеется отсек для батареек. Если автомобиль телеуправляемый, сохраните приемник и передатчик для ваших будущих самодельных устройств.

Первым делом установите снизу и в передней части шасси автомобиля панель с фототранзисторами и светодиодом. Из куска толстого темного пластика я вырезал панель, форма которой показана на рис. 4.

При желании можно установить фототранзисторы и светодиод непосредственно на шасси автомобиля, при этом должен быть обеспечен достаточный зазор между самой нижней точкой шасси и препятствиями, которые могут встретиться на пути. Кроме того, имейте в виду, что, чем больше вы выдвинете фотоприемное устройство вперед, тем более чувствительным оно будет к небольшим изменениям дорожных условий (к смещению относительно белой линии). Если вы хотите выбрать компромиссный вариант между быстротой

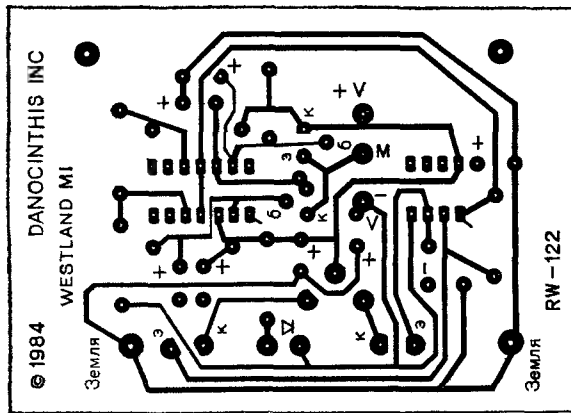


Рис. 5

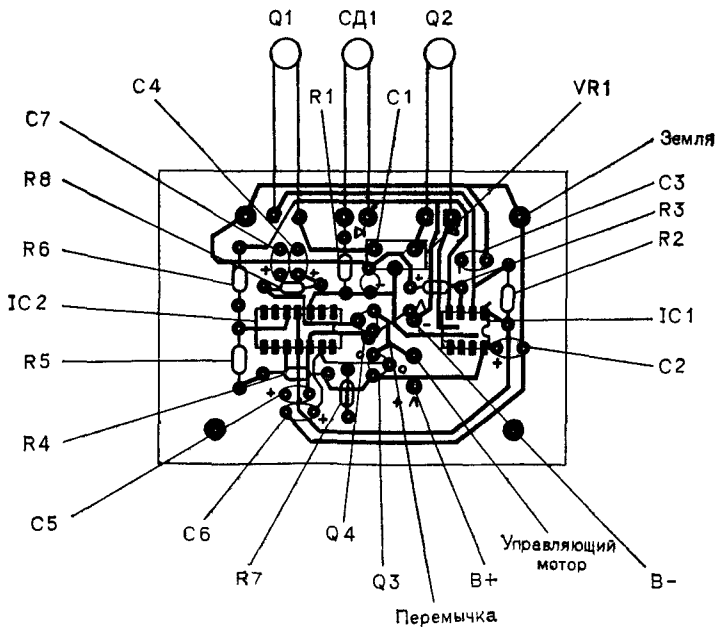


Рис. 6

реакции робота и плавностью его хода, установите фототранзисторы ближе к ведущим колесам.

Не забудьте отгородить фототранзисторы от светодиода. В качестве заслонки можно использовать небольшой кусочек непрозрачного пластика или бумаги.

Следующий шаг заключается в сборке управляющей схемы. Как и в случае большинства устройств, описанных в этой книге, она собрана с применением печатной платы, схема которой приведена на рис. 5, а размещение деталей — на рис. 6.

Проверьте надежность подключения всех источников питания. Не пожалейте на это времени, иначе робот будет работать неустойчиво. Моторы ведущих колес и рулевого управления защищены RC-цепочками (*R9, C8* и *R10, C9* соответственно).

После монтажа радиодеталей на плате вставьте ее на место платы приемника радиуправления. При окончательной сборке закрепите проводники фототранзисторов как можно дальше от соединительных проводников, идущих к моторам. Микросхема *IC1* обладает весьма высоким коэффициентом усиления и легко может усиливать сигналы помех. Если возникнет необходимость борьбы с шумами, используйте для присоединения фототранзисторов экранированный провод.

В батарейном отсеке имеется достаточно места для батареек, питающих Харви электроэнергией, но их включение необходимо изменить в соответствии с приведенной схемой, сделав отвод от точки соединения двух батареек. Используйте выключатель, имеющийся в электрической схеме игрушечного автомобиля.

Для работы робота требуется комплект батареек с общим напряжением 9 В. Поэтому свободное место в батарейном отсеке можно использовать для размещения других компонентов схемы, часть которых рассмотрена ниже.

Проверка работоспособности Харви

Удостоверившись в правильности монтажа, можно приступить к первой проверке работоспособности робота. При выключенном тумблере питания поместите четыре никель-кадмиевые аккумуляторные батарейки в отсек питания. После включения тумблера робот должен двигаться вперед и поворачиваться.

Тщательно проверьте характер движения робота. Рулевое управление можно испытать, освещая фонариком то один фототранзистор, то другой. Если направление вращения какого-либо мотора неправильное, поменяйте полярность подключения его выводов.

Теперь проверьте работу робота Харви на окружности, описываемой белой полосой, проведенной лучше всего на черном фоне. Радиус окружности не должен быть меньше радиуса поворота рулевого колеса.

Поместив Харви на трековую полосу, включите питание и проследите за движением робота.

Источник электроэнергии

В конструкции робота Харви применены по существу две оптоэлектронные системы, различающиеся по принципу работы. С одной из них («зрением» робота) мы уже имели дело; ее работа обеспечивается светочувствительными элементами (фототранзисторами), которые управляют током рулевого мотора.

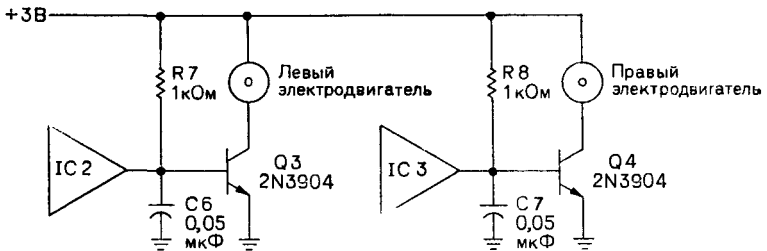


Рис. 7

Другая оптоэлектронная система робота представляет собой солнечную батарею, поддерживающую аккумуляторы в заряженном состоянии. Трудно поверить, но Харви «питается» весьма малым количеством электроэнергии. Фактически полностью заряженного

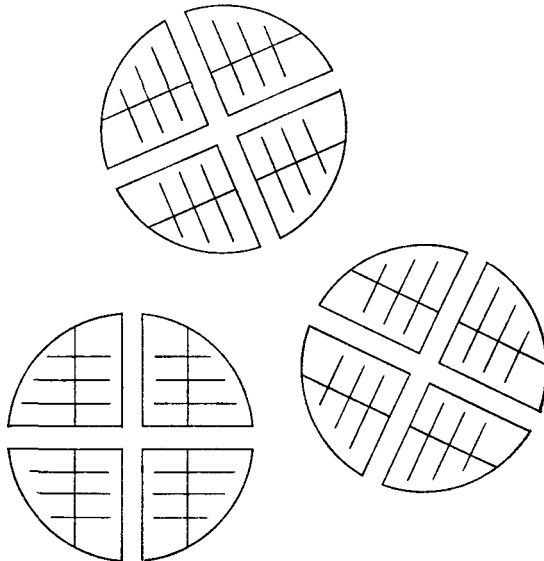


Рис. 8

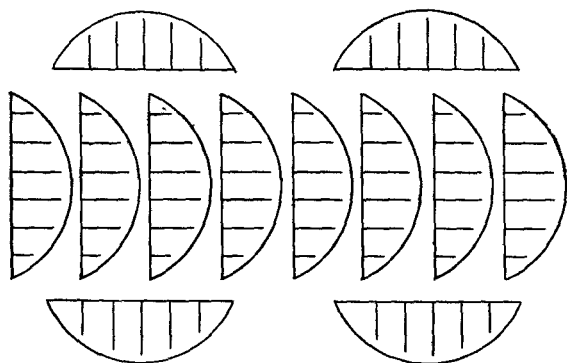


Рис. 9

комплекта аккумуляторных батарей хватит для обеспечения автономной работы в течение примерно 1 ч. После этого для возобновления работы робота его необходимо осветить. Если же Харви находится на солнце, он подзарядится во время движения.

Чтобы удовлетворить его потребности, необходимо всего 12 солнечных элементов. Хотя можно использовать любые элементы, генерирующие ток 80 мА или более, я нашел два наиболее подходящих типоразмера.

Батарея из элементов первого типоразмера, показанных на рис. 8, изготовлена из трех круглых элементов, разделенных на четыре части; эти части соединены последовательно с сохранением расположения, показанного на рисунке. В результате получается батарея из элементов, расположенных в виде трех кружочков, похожих на «божью коровку».

Более солидный вид у Харви получается при использовании 12 серповидных элементов, расположенных в линию так, как показано на рис. 9. Робот становится похожим на насекомое (многоножку или червяка) и как бы скользит при движении.

Конечно, вы можете изготовить батарею любой другой конфигурации. Можно даже сделать сменные крышки робота, обеспечив ему возможность более разнообразно выразить себя.

Необходимо помнить: чем меньше выходной ток солнечного элемента, тем дольше будут заряжаться аккумуляторы. Если же вы используете достаточно хорошие элементы, смотрите, чтобы не перезарядились аккумуляторы. Обратитесь за советами к гл. 10, где обсуждаются никель-кадмиевые аккумуляторные батареи и их характеристики.

Дополнительное оборудование робота

Имеется множество путей дальнейшей модификации робота. Например, робот приобретает весьма эффектный вид, если его снабдить парой мигающих светящихся «глаз» (не путайте с настоящими фоточувствительными «глазами»). Робота можно «научить» издавать звуки. В продаже имеется ряд микросхем, генерирующих звуки в широком диапазоне.

Теперь, когда Харви (или Гарриетта) готов, начинается пора развлечений. И знакомства с робототехникой!

Список деталей

Резисторы

R1—150 Ом

R2, R3—1 МОм

R4, R6—2,2 кОм

R5, R7, R8—1 кОм

R9, R10—100 Ом

VR1—50 кОм, потенциометр

Конденсаторы

C1—100 мкФ, 16 В

C2, C3, C4, C5—0,01 мкФ

C6, C7—0,05 мкФ

C8, C9—0,1 мкФ

Полупроводники

D1—1N34A

IC1—LM1458

IC2, IC3—LM339

СД1—ХС880-А, ИК-светодиод

Q1, Q2—Т1L414, фототранзистор

Q3, Q4—2N3904

Остальные детали

12 солнечных элементов (см. текст)

4 никель-кадмиевых аккумулятора
АА

Ведущий и рулевой электродвигатели

Готовая печатная плата с высверленными отверстиями для робота Харви поставляется фирмой Dapocinths, Inc., Р. О. Box 261, Westland, MI 48185 по цене 9 долл. плюс 1,5 долл. за заказ и пересылку. Номер по каталогу RW122

СИГНАЛЬНЫЙ ФОНАРИК

Попадали ли вы в ситуацию, когда вам пригодилось бы любое устройство, предупреждающее об опасности, а его не было? Например, вы вырыли канаву вокруг цветника или перекопали газон весной и вдруг вспомнили, что вечером у вас гости. Может быть, вы строите бассейн или на въезде на ваш участок образовалась большая выбоина. Независимо от конкретной ситуации бывают моменты, когда требуется устройство, предупреждающее об опасности.

Цель предупреждающей системы — привлечь внимание; эффективнее всего внимание человека привлекают вспышки света, а не постоянно горящий свет, потому что человеческий глаз воспринимает их как движение (изменение). Всем нам хорошо известно, что зрение человека значительно более чувствительно к движущимся объектам, нежели к неподвижным.

Описанный в этой главе мигающий предупреждающий фонарик предназначен именно для привлечения внимания в случае какой-либо опасности.

Принцип работы схемы

Охранная схема построена с использованием одной интегральной микросхемы LM3909. Эта микросхема является уникальным генератором импульсов, который потребляет очень мало энергии и требует минимума дополнительных элементов. О простоте устройства мигающего фонарика можно судить по схеме на рис. 1, требующей лишь четыре навесных элемента.

Микросхема по существу представляет собой генератор с отрицательным сопротивлением, период следования импульсов в котором определяется внутренними элементами и емкостью конденсатора $C1$. В момент включения питания конденсатор $C1$ начинает заряжаться. Скорость заряда и, следовательно, постоянная времени устанавливаются и контролируются с помощью микросхемы $IC1$. Когда напряжение на конденсаторе достигнет установленного уровня срабатывания, $IC1$ включается и разряжает конденсатор $C1$ на светодиод $SD1$.

При разряде емкости через диод ток протекает через базу транзистора $Q1$, который переходит в режим насыщения. Резистор $R1$ ог-

раничивает разрядный ток конденсатора $C1$ и определяет постоянную времени разрядного цикла, которая в свою очередь определяет время открытого состояния транзистора. При большом сопротивлении резистора конденсатор разряжается медленнее и постоянная времени увеличивается, а при малом сопротивлении — уменьшается.

Последовательно с переключающим транзистором включена лампа, предупреждающая об опасности, следовательно, она *светит*, когда транзистор проводит ток.

Когда напряжение на конденсаторе упадет до установленного нижнего предела, микросхема $IC1$ переходит в исходное состояние

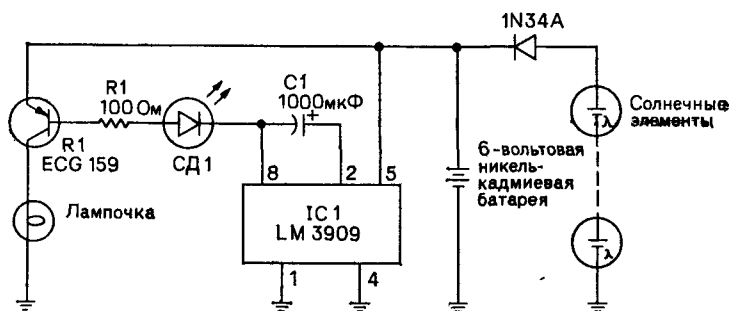


Рис. 1

и конденсатор $C1$ начинает снова заряжаться. Цикл работы повторяется.

Отношение длительностей включенного и выключенного состояний (скважность) определяется отношением $R1/C1$. Наша схема разработана так, что лампа включена в течение приблизительно 6% времени полного периода работы. Это соответствует примерно 15 вспышкам света за 1 мин.

Источник питания

Хотя схема фонарика питается от солнечной батареи, основной его целью является предупреждение об опасности в ночное время, когда наше зрение гораздо менее эффективно и вполне можно натолкнуться на какое-либо препятствие. Следовательно, необходимо запасти энергию в дневное время для последующего ее использования в ночное время.

Для этого были отобраны никель-кадмиевые аккумуляторы, которые предпочтительнее свинцово-кислотных благодаря наличию относительно постоянного напряжения разряда. Было бы очень нестати, если бы яркость света снижалась ночью по мере разряда ак-

кумулятора. При использовании никель-кадмиевых аккумуляторов освещение остается ярким вплоть до глубокого разряда.

Всего для питания схемы потребуется пять никель-кадмиевых аккумуляторных элементов типоразмера АА с припаянными выводами, в каждом из которых может быть запасено 0,5 А·ч электроэнергии.

Элементы припаиваются друг к другу противоположными выводами: положительный вывод одного элемента припаивается к отрицательному следующего. Затем лист плотной бумаги, служащий в качестве корпуса, оборачивается вокруг батареи и все изделие заливается подходящим полимерным составом с целью надежной влагоизоляции.

Солнечная батарея

Никель-кадмиевые аккумуляторы заряжаются от солнечной батареи. Для данной конструкции выбраны серповидные элементы, получаемые при срезе сегментов круглого элемента диаметром 10 см, с целью придания ему квадратной формы. Выходной ток этих элементов лежит в пределах 50—80 мА, хотя встречаются элементы, развивающие ток 125 мА и более.

Основной задачей, решаемой данной конструкцией солнечной батареи, является поддержание никель-кадмиевых аккумуляторов в постоянно заряженном состоянии без перезарядки. Как было показано в гл. 10, никель-кадмиевые аккумуляторы легко выходят из строя при перезаряде.

Дисковые аккумуляторы, используемые в данной конструкции, можно заряжать током 50 мА, не боясь повредить их. Таким образом, мы изготовим солнечную батарею, генерирующую ток около 50 мА.

Предупреждающий об опасности фонарик имеет малые габариты, поэтому лучше изготовить небольшую солнечную батарею. С этой целью следует отобрать серповидные элементы, развивающие ток 90—100 мА.

Разделите серповидные элементы пополам. Это легко сделать, резко нажав крестообразным лезвием ножа на участок вблизи прямолинейного края элемента. Исходные круглые элементы, от которых были отколоты серповидные элементы, получены из кристаллического материала, в котором линии скола перпендикулярны прямолинейным краям серповидных элементов. Если нажать на этот край, элемент расколется на две части. Размеры получаемых элементов определяются тем, в каком месте производится нажатие. Если вы нажмете посередине, получите два одинаковых элемента.

Как известно из гл. 1, деление элемента на сегменты не разрушает его, а лишь уменьшает выходной ток. Следовательно, при

разделении элемента пополам каждая половинка будет генерировать ток 45—50 мА.

Не обязательно делить элементы на части, можно использовать целые серповидные элементы, генерирующие ток только 50 мА. Для отбора таких элементов полезен тестер, описанный в гл. 2. При этом необходимо помнить, что слаботочные элементы займут больше места в батарее.

Соедините 14 элементов последовательно — и вы получите солнечную батарею. Разместите их на небольшой пластинке из пластика или стекла и загерметизируйте для предохранения от воздействия окружающей среды.

Блокирующий диод (D1) защищает аккумуляторы от разряда через солнечную батарею в ночное время. Он представляет собой германиевый диод с низким прямым напряжением порядка 0,3 В и максимальным током 200 мА.

Конструкция сигнального фонарика

Электронная схема изготавливается с применением печатного монтажа. Печатная плата приведена на рис. 2, размещение деталей — на рис. 3. В изготовлении нет ничего сложного, только тщательно соблюдайте полярности выводов всех полупроводниковых приборов и тщательно пропаивайте соединения.

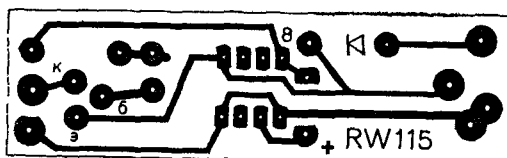


Рис. 2

Мигающую лампу необходимо поместить в какой-либо стеклянный баллон для защиты от воздействия внешней среды. Кроме того, стеклянный баллон способствует рассеиванию света лампы в широком диапазоне углов. Для этой цели прекрасно подойдет сферический рассеиватель, ранее используемый в габаритных огнях некоторых автомобилей. Накрытая подобным колпачком лампа видна со всех направлений.

Можно также поместить лампу между двумя линзами, такая конструкция обычно используется в оградительных фонарях на дорогах. Линзы обязательно должны быть круглыми, подойдет любая форма. Не составит особого труда защитить лампу в соответствии с приведенными рекомендациями.

Мне самому тем не менее специально потребовался небольшой сигнальный фонарик, который светил бы только в одном направлении. В результате поисков я обнаружил в продаже дешевый осветитель, точно отвечающий моим требованиям (см. подробнее список деталей). Он предназначался для использования в автомобиле и был

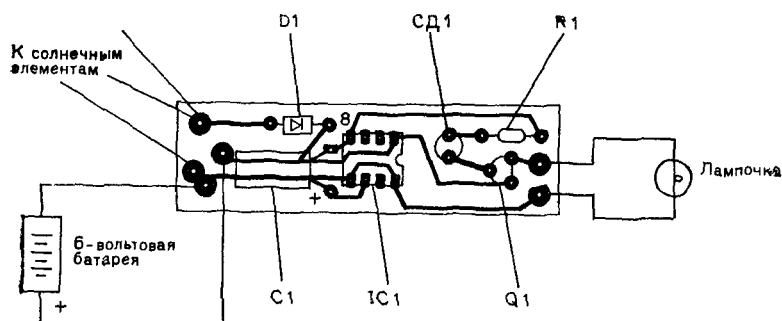


Рис. 3

оснащен магнитным держателем (очень удобно для закрепления на металлических поверхностях) и разъемом для подключения в гнездо прикуривателя на 12 В.

Чтобы использовать этот фонарик в качестве сигнального, первым делом нужно было обрезать соединительный привод с 12-вольтовым разъемом так, чтобы остался присоединенный отрезок провода длиной около 10 см. Сохраните при желании разъем прикуривателя и соединительный провод для будущих конструкций. Теперь удалите рукоятку для сматывания провода, отвинтив удерживающий ее винт.

Лампочка в этом фонарике рассчитана на 12 В и хорошо работать в нашей схеме не будет. Для доступа к лампочке отверните против часовой стрелки внешнее кольцо, удерживающее переднее стекло фонарика. Замените лампу на лампу № 50 и соберите фонарик.

Печатная плата, изображенная на рис. 2, специально сделана таких размеров, чтобы точно уместиться в выемке от 12-вольтового разъема.

Плата и все детали на ней точно подходят по размерам, кроме конденсатора C1, который необходимо расположить «лежа».

Наконец, припаяйте выводы лампы, аккумуляторной и солнечной батарей к соответствующим контактным площадкам платы. При окончательной сборке фонарик закрепляется на аккумуляторной батарее. Дополнительный вес батареи добавит фонарику устойчивость. Солнечная батарея, которая не крепится к фонарику, может располагаться в любом освещаемом солнцем месте.

Использование сигнального фонарика

Фонарик может не снабжаться тумблером для выключения его в дневное время. В этом нет необходимости. Мой опыт показывает, что свежезаряженного комплекта аккумуляторов вполне хватает на неделю работы фонарика. Совершенно разряженные никель-кадмиевые элементы полностью подзаряжаются за 10 солнечных часов, иными словами, за полтора дня работы солнечной батареи.

Если такой режим работы вас не удовлетворяет, следует увеличить размер солнечной батареи, чтобы она генерировала ток 17 мА, и сменить прежние аккумуляторные элементы на элементы с большей емкостью (типа С). В этом случае будет запасаться приблизительно в 3 раза больше энергии.

Область применения этого небольшого портативного фонарика почти не ограничена. Конечно, в голову тотчас приходят уже упомянутые применения: своевременное световое предупреждение о впадинах и ямах, трудноразличимых изгородях и незаметных препятствиях. Неплохо также установить сигнальные огни на лодки, пристани и высокие здания.

Если вы радиолюбитель, возможно, вы захотите закрепить мигающий фонарик со сферической крышкой на мачте вашей антенны. Домохозяйкам понравится использование подобного приспособления для предупреждения о только что натертых полах. Фонарик с магнитным держателем можно укрепить на крыше автомобиля, поставленного на стоянку на обочине шоссе.

А какая забавная получится благодаря такому фонарику маска с мерцающими глазами!

Список деталей

Резистор
R1—100 Ом, 1/2 Вт
Конденсатор
C1—1000 мкФ, 16 В
Полупроводники
D1—1N34A
IC1—LM3909
CD1—Jumbo red
Q1—ECG 159

Остальные детали

Лампочка № 50
14 солнечных элементов, 50 мА (см. текст)
5 никель-кадмиевых аккумуляторов AA
Корпус фонарика (Radio Shack 61-2502)
Готовая печатная плата с высверленными отверстиями для сигнального фонаря поставляется фирмой Danocinths, Inc., P. O. Box 261, Westland, MI 48185 по 4,5 долл. плюс 1,5 долл. за заказ и пересылку Номер по каталогу RW115

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИЗГОРОДЬ

Более века тому назад было обнаружено, что с помощью безвредного удара электрическим током можно удерживать домашних животных в загоне. Фермеры и скотоводы нашли этому открытию хорошее применение. Благодаря высоковольтному проводу, проложенному вдоль периметра загона, стало возможным, не прибегая к дорогостоящей прочной изгороди, ограничить свободу передвижений животных.

К сожалению, очень часто в местах расположения животноводческих ферм отсутствует централизованное снабжение электроэнергией, необходимой для питания электрической изгороди. В последнее время для решения этой проблемы прибегают к использованию аккумуляторов. Но аккумуляторные батареи нуждаются в периодическом обслуживании и подзарядке, что делает все устройство весьма громоздким.

Впрочем не стоит волноваться. На помощь пришла солнечная энергия. После установки небольшой фотоэлектрической батареи отпадает необходимость в смене или подзарядке аккумуляторных батарей.

Принципиальная схема устройства

Для электрической изгороди требуется всего лишь маломощный источник питания, что делает использование подобной изгороди более практичным. Зарядное устройство функционирует на основе автомобильной катушки зажигания.

Катушка работает в основном на том же принципе, что и в системе зажигания автомобиля. Когда контакты прерывателя (в нашем случае контакты реле $RL1$) замыкаются, через первичную обмотку катушки зажигания начинает течь ток, вызывающий увеличение магнитного поля в сердечнике катушки.

При размыкании контактов ток прекращается и магнитное поле начинает спадать. Изменяющееся магнитное поле вызывает появление напряжения во вторичной обмотке катушки. Поскольку отношение числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной обмотки очень велико, индуцируемое напряжение также очень велико,

точнее 25 кВ. Такого потенциала вполне достаточно, чтобы отпугнуть любых, даже агрессивных животных.

Реле включается транзистором Q1 на короткий период времени (около 15 мс). В течение этого короткого интервала через катушку протекает ток, создающий магнитное поле в сердечнике. Длительность *включенного состояния* реле задается ждущим мультивибратором, собранным на логических элементах КМОП-структуры, постоянная времени замкнутого состояния определяется величинами C2 и R3. Запуск осуществляется автоколебательным мультивибратором, собранным на двух оставшихся элементах IC1A и IC1B КМОП-структуры. По сути дела этот генератор определяет количество импульсов в минуту подобно прерывателю автомобиля. Период следования импульсов регулируется резистором VR1 в пределах 30—64 имп/мин.

Последний мультивибратор также определяет продолжительность рабочего цикла зарядного устройства. При самой высокой частоте (64 имп/мин) рабочий цикл занимает 1,6% всего периода работы устройства, при низкой частоте (30 имп/мин) — 0,75%. Благодаря подобной комбинации короткого рабочего цикла и использованию элементов КМОП-структуры устройство электрической изгороди потребляет очень мало электроэнергии.

Конструкция

Схема электрической изгороди для простоты выполнена с применением печатного монтажа. Хотя схема в общем не обладает какими-либо особенностями при монтаже, следует проявлять определенную осторожность, работая с КМОП-элементами.

КМОП-элементы очень чувствительны к воздействию статического электричества и требуют аккуратного обращения. Лучше всего сначала закрепить на плате все элементы, а затем уже аккуратно вставить интегральную микросхему и припаять ее паяльником с заземленным жалом.

Микросхема, даже после установки на плату, весьма чувствительна к электрическим наводкам и помехам. Таким образом, катушку зажигания необходимо разместить как можно дальше от платы. Высоковольтный провод ни в коем случае не должен проходить вблизи платы!

Выбирая катушку зажигания для схемы, помните, что подойдет лишь *обычная* автомобильная катушка. Современные катушки для электронных транзисторных схем зажигания в упомянутых условиях будут сильно искрить в нашей схеме. Можно взять любую катушку от старой модели автомобиля, однако необходимо знать некоторые различия между разными типами катушек.

Некоторые катушки (например, от автомобиля Фольксваген) при включении дают мощный импульс тока. Подобные импульсы

снижают срок службы контактов реле. Подобрать силу тока через контакты, отвечающую паспортной величине, можно с помощью резистора R4, ограничивающего ток через первичную обмотку катушки зажигания.

Для продления срока службы реле следует использовать конденсатор, которым комплектуется катушка зажигания. Если он у вас

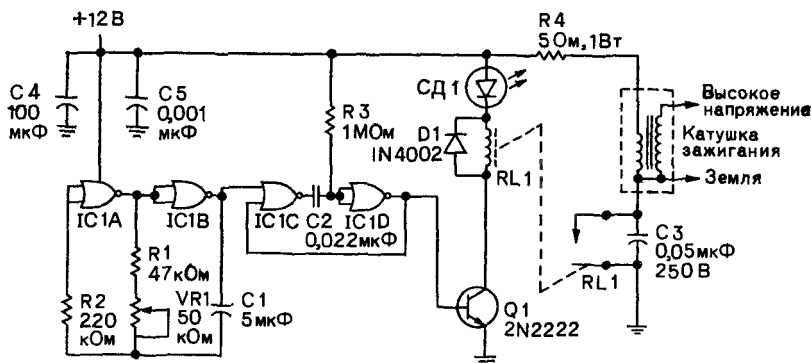


Рис. 1

есть, поставьте его в схему вместо конденсатора C3. Этот конденсатор уменьшает искрение между контактами реле в момент разрыва электрической цепи.

Подавление высоковольтного импульса, возникающего в первичной обмотке, продлевает срок службы контактов. Кроме того, конденсатор и катушка образуют нечто вроде колебательного контура, затухающие колебания которого вызывают увеличение высокого напряжения на вторичной обмотке катушки.

Можно поискать высококачественные катушки, развивающие на вторичной обмотке большее напряжение по сравнению со стандартной катушкой. Тем не менее из опыта следует, что можно достичь хороших результатов, применив обычную катушку.

Источник электроэнергии

Теперь мы приблизились к той части конструкции, которая касается солнечной батареи. Как вы видели, были предприняты определенные усилия, чтобы свести к минимуму потребляемую схемой энергию. Это снижает требования к необходимой мощности солнечной батареи.

Первичным источником энергии в устройстве питания, подключаемого к проволоочной изгороди, является герметичная свинцово-кислотная аккумуляторная батарея, называемая гелевым элементом. По характеристикам она идентична обычной свинцово-кислот-

ной батарее с жидким электролитом, используемой в автомобилях. В отличие от обычных свинцово-кислотных элементов гельные элементы не нуждаются в уходе и могут устанавливаться в любом положении.

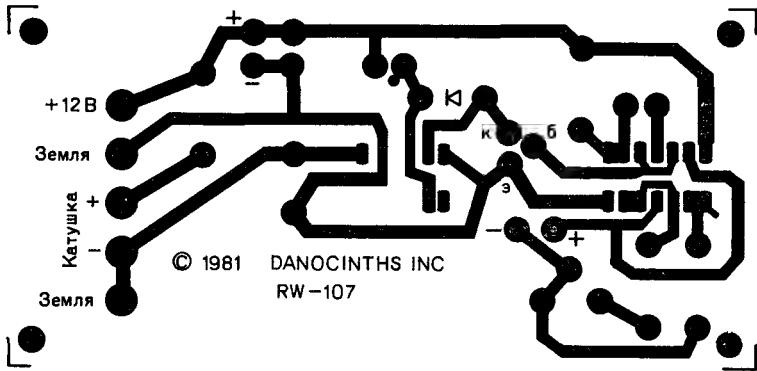


Рис. 2

Батарея типа Powersonic PS-1260 или подобная ей имеет небольшие габариты ($15 \times 6 \times 10 \text{ см}^3$) и помещается в одном корпусе с электронной схемой.

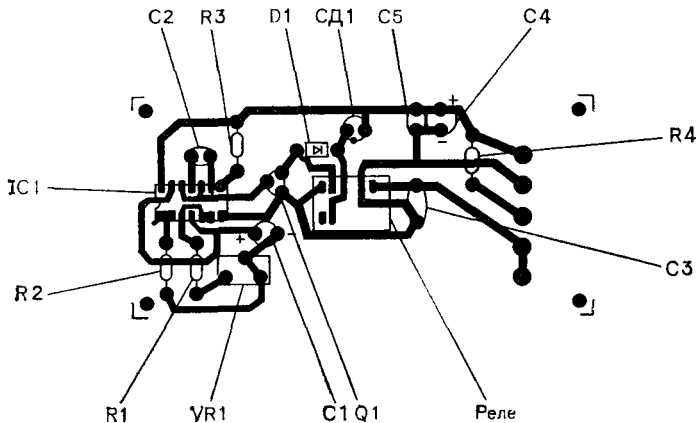


Рис. 3

Для подзарядки аккумуляторов необходима солнечная батарея, которая должна развивать напряжение 12 В при токе 250 мА. В продаже имеется несколько типов батарей, удовлетворяющих этим условиям.

При самостоятельном изготовлении солнечной батареи можно использовать расколотые на четыре части элементы диаметром 7,5 см.

В гл. 1 описано, как разделить солнечный элемент на 4 части. Чтобы получить напряжение, достаточное для заряда аккумуляторной батареи, потребуется соединить последовательно 35 таких «четвертушек».

Солнечная батарея такого размера будет генерировать около 3,6 Вт. Это соответствует в среднем 22 Вт в день или 1,6 А·ч. В нормальных условиях гелевый элемент емкостью 6 А·ч способен снабдить энергию схему без подзаряда от солнечной батареи в течение около 10 дней в зависимости от частоты генерации высоковольтных импульсов, температуры батареи и т. д.

Для защиты аккумулятора от перезаряда необходим регулятор заряда. Для этой цели вполне подойдет регулятор, описанный в гл. 6. Используйте маломощный транзисторный вариант.

Установка высоковольтного устройства

Установка высоковольтного устройства для изгороди весьма проста. По всему периметру изгороди натяните проволоку, на которую затем будет подано высокое напряжение. Эта проволока, конеч-

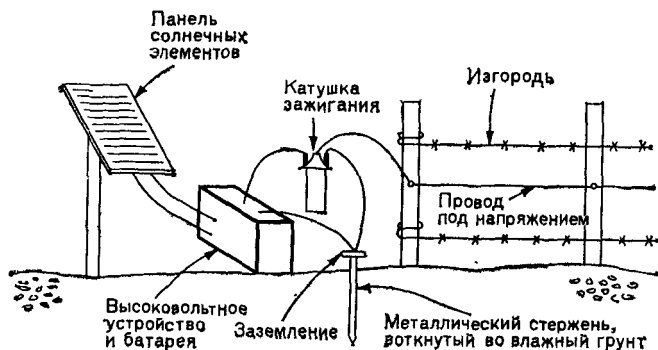


Рис. 4

но, должна быть изолирована от земли. Для этой цели подходят керамические изоляторы, которые имеются в продаже в большинстве хозяйственных магазинов. Вместо них можно использовать горлышки от стеклянных бутылок.

Высота подвески проволоки зависит от вида животных, содержащихся в загоне. Для коров и лошадей, как показывает опыт, необходимо установить проволоку на уровне груди. Частота импульсов также определяется видом животных. Во многих случаях для животных, помещенных в новый загон, требуется использовать высокую частоту. После периода «привыкания» животных к неволе частоту можно снизить.

Проволока присоединяется к высоковольтному выводу катушки зажигания. Надежным заземлением служат металлический штырь, воткнутый во влажную почву, или водопроводные трубы, проложенные в земле. Категорически запрещается для этой цели использовать газовые трубы.

Теперь подключите аккумуляторы, установите частоту импульсов, направьте солнечную батарею на юг — и получилась электрическая изгородь!

Список деталей

Резисторы

R1—47 кОм

R2—22 кОм

R3—1 МОм

R4—5 Ом, 1 Вт

VR1—50 кОм, переменное сопротивление

Конденсаторы

C1—4,7 мкФ, 35 В

C2—0,02 мкФ

C3—220 мкФ, 16 В

C4—220 мкФ, 16 В

C5—0,001 мкФ

Полупроводники

D1—1N4002

IC1—CD4001, логический элемент

И-НЕ

СД1 — светодиод

Q1—2N2222

Остальные детали

RL1 — реле

35 солнечных элементов, 250 мА

Катушка зажигания (см. текст)

Гельный элемент, 12В, 6А·ч (Powersonic PS-1260)

Готовая печатная плата с высверленными отверстиями для электрической изгороди поставляется фирмой Danocinths, Inc., P. O. Box 261, Westland MI, 48185 за 10 долл. плюс 1,5 долл. за заказ и пересылку. Номер по каталогу RWI07

ЛОДКА С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Предлагаемые в данной книге самоделки сочетают в себе приятное с полезным. В этой главе описывается небольшая моторная лодка, питаемая солнечной энергией.

Познавательный аспект при конструировании такой лодки заключается в знакомстве с практическим освоением фотоэлектричества. Периодический характер солнечного освещения диктует необходимость во многих схемах использовать аккумуляторную батарею, и, таким образом, мы имеем электрическую энергию, когда в ней есть необходимость, а не тогда, когда светит солнце. Одна из главных проблем при использовании аккумуляторов заключается в управлении зарядным током: перезаряд аккумулятора может привести к выходу его из строя.

До сих пор для гарантии надежности и большого срока службы батареи аккумуляторов использовался регулятор заряда или ограничивался выходной ток солнечной батареи. В этой главе вам предстоит познакомиться с новым режимом работы солнечных батарей, а именно с их саморегулированием. При их использовании не требуется никаких регуляторов зарядного тока аккумуляторных батарей.

Батареи свинцово-кислотных аккумуляторов

На режим саморегулирования солнечной батареи большое влияние оказывают характеристики свинцово-кислотной батареи, поэтому необходимо, как мне кажется, кратко ознакомиться с их принципом работы.

Свинцово-кислотный аккумуляторный элемент состоит из двух свинцовых пластин, погруженных в слабый раствор серной кислоты. В этом случае имеет место обратимая электрохимическая реакция, в результате которой может запасаться электрический заряд. Нас будет интересовать только процесс заряда.

При разряде сульфатные ионы кислотного остатка поглощаются из раствора свинцовыми пластинами. Когда через пластины пропускается зарядный ток, электрическая энергия «вытягивает» сульфатные ионы обратно в раствор. После того как аккумулятор получит около 80% исходного заряда, начинает меняться химическое рав-

новесие внутри элемента. Свинец из соли постепенно восстанавливается до чистого металла.

Результат аналогичен помещению в водный раствор двух металлических стержней, когда создаются прекрасные условия для электролиза. На самом деле так и происходит. Электролиз сопровождается выделением пузырьков кислорода и водорода, т. е. так называемым эффектом «кипения» аккумуляторного элемента. Более правильно этот эффект назвать газовыделением.

Именно газовыделение приводит к порче свинцово-кислотной батареи. Если не предпринять каких-либо мер, элемент в конечном счете выйдет из строя. Для предотвращения повреждения необходимо снизить зарядный ток в самом начале газовыделения. Этой цели служат регуляторы заряда, аналогичные описанному в гл. 6.

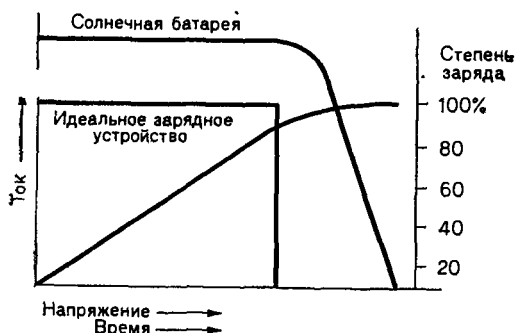


Рис. 1

Снизить зарядный ток можно с помощью резистора, подключенного последовательно с аккумуляторной батареей. Часть электрической энергии рассеивается на этом резисторе в виде тепла, что приводит к снижению зарядного тока.

Другой, часто применяемый способ: на аккумуляторной батарее поддерживать постоянное напряжение, а сила тока принимает различные значения. Поскольку величина тока зависит от разности между напряжением на аккумуляторной батарее и зарядным напряжением, то можно регулировать скорость заряда, меняя напряжение. Подобным образом в электрической системе автомобиля, в которой используется регулятор напряжения, аккумулятор поддерживается в заряженном состоянии.

К сожалению, применение регулятора напряжения при полной зарядке аккумуляторной батареи требует увеличения времени заряда. При ограниченном числе солнечных часов в течение суток времени для заряда, естественно, мало.

Вероятно, вы уже догадались, что идеальное решение — объединение регулятора тока и регулятора напряжения в едином устрой-

стве. Заряд начинается большим током без какого-либо ограничения по напряжению. Когда батарея достигнет стадии газовыделения, устройство уменьшает ток и переключается в режим регулирования напряжения.

В аккумуляторной батарее запасается максимальное количество заряда в кратчайшее время, при этом вероятность перезарядки аккумулятора исключается. Графически идеальный цикл заряда представлен на рис. 1.

Саморегулирующая солнечная батарея

Теперь можно рассмотреть характеристику кремниевого солнечного элемента, представленную на рис. 1 (верхняя кривая).

Как известно (гл. 2), кремниевый солнечный элемент является генератором тока. Независимо от величины напряжения до изгиба кривой ток всегда постоянен. Напряжение на элементе определяется сопротивлением нагрузки.

С уменьшением сопротивления нагрузки наступает момент, когда ток больше не является определяющим фактором. Эта часть кривой названа «коленом». При больших значениях напряжения на нагрузочном сопротивлении вступают в действие законы сохранения энергии и квантовой физики, и ток спадает. Обратим пристальное внимание на этот факт, так как в нем заключается смысл саморегулирования солнечной батареи.

Эта переходная точка на характеристике солнечной батареи весьма важна при дальнейшем рассмотрении. В самом деле, она разделяет два режима работы солнечной батареи. Выше ее солнечный генератор выступает в роли генератора тока, а ниже — эквивалентен регулятору напряжения.

Если сравнить график работы идеального зарядного устройства с вольт-амперной кривой солнечной батареи (рис. 1), можно отметить, что две кривые очень похожи. Фактически они почти конгруэнтны.

Поэтому совершенно естественно увязать вместе обе характеристики. Согласовав точку перегиба вольт-амперной кривой солнечной батареи с моментом начала газовыделения аккумулятора, можно достичь эффекта саморегулирования.

Возвратимся к типичному примеру. Предположим, что процесс начинается с полностью разряженной свинцово-кислотной батареи. Подключим теперь ее к саморегулирующемуся солнечному генератору.

При освещении солнечной батареи аккумулятор начинает заряжаться. В начале процесса напряжение батареи мало (< 10 В). При этом солнечная батарея работает в области выше «колена» в режиме генератора тока. Другими словами, аккумулятор получает макси-

мальный ток, который может произвести солнечная батарея, что дает возможность достичь необходимого быстрого заряда.

По мере накопления заряда в аккумуляторных элементах напряжение начинает постепенно увеличиваться. Вспомните, как мы пользовались этим увеличением в конструкции регулятора заряда (гл. 6). Мы снова можем сделать то же самое.

Если согласовать напряжение газовой выделения, которое начинается при 12,6 В в 12-вольтовой аккумуляторной батарее, с напряжением «колена» вольт-амперной кривой солнечной батареи, мы сможем получить тот же результат, что и в гл. 6, а именно: снижение зарядного тока.

Предполагая, что аккумулятор достиг стадии газовой выделения, мы наблюдаем, что солнечная батарея выходит из режима стабилизации тока. Теперь увеличение заряда аккумуляторной батареи и напряжения на ней вынудит солнечную батарею работать в режиме регулятора напряжения. В результате снизится зарядный ток.

Чем больше заряд на батарее, тем больше становится статическое напряжение и тем дальше рабочая точка на характеристике солнечной батареи продвигается в область ниже «колена». За ростом напряжения следует соответствующее снижение выходного тока солнечной батареи.

К моменту полного заряда аккумуляторных элементов рабочая точка сдвигается по характеристике так далеко вправо, что теперь от солнечной батареи течет лишь небольшой подпитывающий ток. Он столь мал, что батарея может оставаться в таком состоянии сколько угодно долго, без опасения перезаряда. В этой точке напряжение на батарее принимает значение 13,2 В.

В таком положении все остается до тех пор, пока мы не израсходуем энергию, накопленную в аккумуляторной батарее. Когда элементы отдают энергию, напряжение на батарее соответственно уменьшается и рабочая точка смещается по вольт-амперной кривой в обратном направлении. Сила зарядного тока от солнечной батареи будет зависеть от того, насколько уменьшилась величина напряжения на аккумуляторной батарее, т. е. от пропорционального этой величине количества израсходованной энергии.

Вот мы и достигли цели, теперь у нас имеется саморегулирующийся солнечный генератор.

Влияние температуры

Саморегулирующая солнечная батарея обладает весьма неожиданным свойством: она учитывает влияние температуры. Немногие из окружающих нас предметов не подвержены воздействию температуры. Не составляют исключения солнечные элементы и аккумуляторы. Электрический заряд сохраняется в свинцово-кислотной батарее благодаря химической реакции, которая весьма чувствительна

к изменению температуры. Чем выше окружающая температура, тем быстрее протекает реакция. Практически это означает, что в более холодных погодных условиях требуется более высокое зарядное напряжение.

У обычных регуляторов заряда слежение за температурой всегда составляло проблему. Решить ее простыми средствами не представляется возможным, а любой более или менее сложный способ будет приводить к усложнению и удорожанию конструкции.

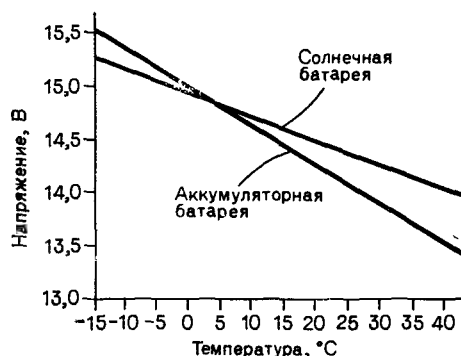


Рис. 2

Температурная зависимость вольт-амперной характеристики кремниевого солнечного элемента компенсирует температурные свойства свинцово-кислотного аккумуляторного элемента. Понижение температуры фактически вызывает более эффективную работу солнечного генератора.

Благодаря различным влияниям на объем полупроводника наиболее сильно затрагивается компонента напряжения. Именно это и требуется для аккумуляторной батареи. При понижении внешней температуры увеличивается выходное напряжение солнечных элементов (именно в тот момент), когда батарее *требуется* большее зарядное напряжение. Более того, при работе в обычном температурном диапазоне зависимости характеристик солнечной и аккумуляторной батарей от температуры настолько хорошо согласуются между собой (рис. 2), что не требуется каких-либо дополнительных мер для успешной совместной работы этих батарей в общем устройстве.

Моторная лодка

Настала пора развлекательной части нашего повествования. Пусть теперь саморегулирующаяся солнечная батарея поработает на нас. Для данной конструкции была выбрана небольшая моторная лодка с электроприводом.

Она представляет собой резиновую надувную лодку, изготовленную фирмой Metzeler. Ее длина 2,7 и ширина 1,2 м. Устойчивость лодки обеспечивается двумя разнесенными цилиндрами типа понтонов, а плоское дно служит в качестве просторной «каюты».

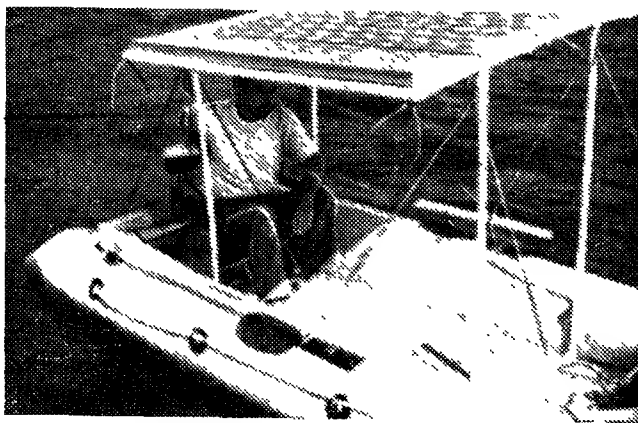


Рис. 3

Имея небольшую скорость движения по воде (9,4 км/ч), эта лодка прекрасно подходит для ловли рыбы или просто для приятной прогулки в солнечный день. Солнечные батареи устанавливаются на навесе, защищающем пассажиров от лучей солнца (рис. 3). Кроме питания лодочного электромотора фотоэлектрическая система может также обеспечить электроэнергией радиоприемник, систему освещения или водяной насос.

Конструкция

Начинаем наше описание с лодки. Хотя для выбора имеется множество типов лодок, предпочтение было отдано мною надувной понтонной лодке по двум причинам.

Во-первых, она надувная. А это означает, что она портативная и в спущенном состоянии удобна для хранения. Во-вторых, надувная лодка — добротное, устойчивое судно, которым можно пользоваться в течение длительного времени. В дальнейшем я подробно объясню, как было осуществлено преобразование солнечной энергии на данной конкретной лодке.

Если вы лучше меня разбираетесь в лодках и захотите смонтировать солнечную батарею на лодке другого типа, воспользуйтесь тем не менее следующими рекомендациями.

Вначале устанавливаются солнечные батареи. В данной конструкции использовались солнечные батареи М-61 фирмы ARCO Solar, Инс. саморегулирующего типа.

Каждая батарея М-61 мощностью 25 Вт конструктивно выполнена в виде панели длиной 120 см, шириной 30 см и толщиной 4 см, содержащей 30 монокристаллических круглых элементов диаметром 10 см. Батарея рассчитана на напряжение 14,1 В и ток 1,75 А.

Если вы хотите сами изготовить солнечную батарею, постарайтесь, чтобы ваша батарея имела такие же характеристики. Убедитесь в том, что солнечные батареи *абсолютно* водонепроницаемы: уж чего-чего, а влаги будет предостаточно!

Для движения лодки потребуются четыре солнечные батареи с указанными характеристиками. Разместите их в один ряд на панели размером 120×120 см² и соедините параллельно. Полный ток четырех параллельно соединенных батарей составляет 7 А, а напряжение 14 В.

Панель солнечных батарей крепится к палубе с помощью каркаса из полихлорвиниловых водопроводных труб диаметром 4 см (Schedule-40). Пластмассовая трубка — отличный материал для подобных целей; она жестка, недорога, легка и главное не подвержена коррозии.

Каркас из труб выполняется в соответствии со схемой, приведенной на рис. 4. Соединения под 90° выполнены с помощью угольников, а верхняя рама прикрепляется с помощью тройников.

Требуются четыре стойки длиной около 120 см каждая. Нижние концы двух передних стоек соединяются стяжкой, которая, как видно из рис. 3, покоится на дне лодки непосредственно перед передним сиденьем. Две задние стойки соединяются аналогично и закрепляются у заднего сиденья.

Отрежьте ножовкой куски пластмассовых труб требуемой длины и соберите каркас, подгоняя детали по месту. Хотя на рис. 4 приведены точные размеры (в см), их необходимо использовать лишь в качестве рекомендации. Окончательная подгонка осуществляется на самой лодке. Несущий каркас солнечной батареи должен плотно входить между понтонами при установке его на место на дно лодки.

Когда вы удостоверитесь, что все сделано верно, склейте детали чистым ПВХ-клеем, содержащим растворитель для пластмассы¹⁾. При склеивании двух пластмассовых деталей образуется соединение столь же прочное, как и сам исходный материал.

Необходимо работать с этим клеем быстро, он не оставляет времени для раздумий. Поэтому прежде, чем клеить, подготовьте и разместите все детали. Склеивайте не более двух деталей сразу и, преж-

¹⁾ В качестве растворителя для полихлорвинила используется тетрагидрофуран. Работая с ним, следует помнить, что он ядовит, как, впрочем, и большинство других растворителей. — *Прим. перев.*

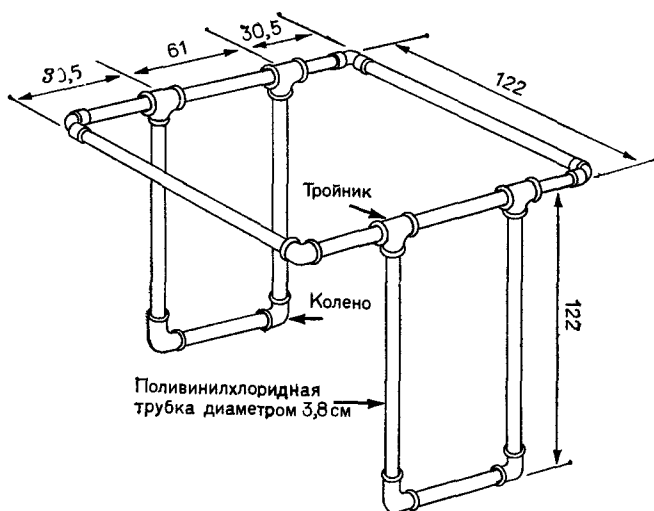


Рис. 4

де чем переходить к следующему соединению, дождитесь полного схватывания клея.

Затем с помощью болтов соедините вместе солнечные батареи в единый блок площадью 1,5 м². Для этой цели на металлической окантовке батарей имеются специальные отверстия.

Между батареями необходимо оставить небольшой зазор, чтобы снизить парусность конструкции. Для разделения батарей можно использовать распорки.

Затем панель солнечных батарей размещается на несущем каркасе и привязывается шнуром или веревкой по крайней мере в четырех точках с каждой стороны и в тех местах, где батареи свинчены между собой. Лучше не скупитесь на шнур, иначе ваша батарея после сильного порыва ветра упадет в воду.

В качестве лодочного двигателя используется электрический мотор весом около 13 кг. Подобные электромоторы производятся различными фирмами, например Montgomery Ward и Sears.

Лодочный двигатель поставляется прикрепленным к деревянной траверсе, которая легко выдержит небольшой электромотор, так как конструкция рассчитана на небольшую мощность до 4 л. с. (около 3 кВт).

Электромотор питается от 12-вольтовой свинцово-кислотной батареи. Это батарея гелевых элементов, подобная описанному в гл. 14 типу. По существу гелевый элемент аналогичен обычному свинцово-кислотному элементу с жидким электролитом. Однако в гелевый элемент заливается не жидкий, а густой электролит фирмы Jell-O, имеющий консистенцию желе

Применение гельной аккумуляторной батареи вместо стандартной морской батареи обусловлено отсутствием протекания электролита. Даже если лодка перевернется (чего никогда не случалось), кислота не прольется.

Поскольку солнечные батареи-саморегулирующие, единственное, что требуется,— это присоединить их к аккумуляторной батарее, а ту в свою очередь к электромотору. Все очень просто!

С какой целью в данной конструкции используются солнечные саморегулирующие солнечные батареи? С одной стороны, такие батареи упрощают конструкцию и повышают надежность. Это — главная причина. С другой стороны, это дало мне возможность продемонстрировать вам еще одно свойство солнечных батарей.

Возможности лодки

Хорошо ли работают солнечные батареи? Что ж, сознаюсь: на рис. 3 вы видите не мою лодку, она принадлежит Гэри Занстечеру (сидящему в ней), которому я и предоставляю возможность объяснить, хороша ли она. Вот его мнение:

«Это — устойчивое судно, легкое в транспортировке и сборке. Обычно лодка пришвартована в Марина-дель-Рей. Мы пользуемся ею по выходным дням и в свободное время.

Благодаря своим характеристикам лодка развивает скорость, составляющую 9,4 км/ч. При движении мотор потребляет 25 А, следовательно, аккумуляторной батареи емкостью 80 А·ч хватает приблизительно на 3 ч работы. Однако необходимо помнить, что одновременно происходит непрерывная подзарядка от солнечной батареи.

Я катался на лодке по 4—5 ч подряд и никогда не испытывал недостатка в электроэнергии. Конечно, я пользовался лодкой только в солнечные дни.

Лодка находится на стоянке по крайней мере в течение недели между поездками, поэтому у солнечных батарей достаточно времени для зарядки аккумуляторов.

Посмотрите, солнечные батареи не ориентированы на солнце. Это делать неразумно, поскольку лодка постоянно меняет свою ориентацию и направление движения. Батареи установлены горизонтально и, конечно, большую часть времени не генерируют полного тока. Тем не менее, когда солнце находится высоко над горизонтом, они функционируют довольно хорошо.

Батареи лишь привязаны к панели, поэтому их можно очень быстро снять. Они довольно дороги, и я не хочу потерять их в шторм. Правда, лодка выдерживала воздействия ветра, дующего со скоростью до 56 км/ч, без каких-либо проблем.

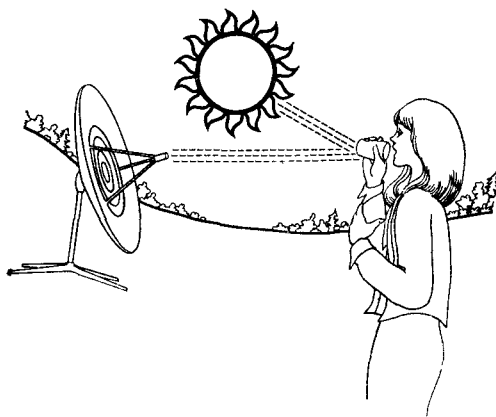
Вообще должен сказать, что лодка с солнечной батареей — весьма забавная штука».

ФОТОФОН

Не всем известно, что Александр Грейам Белл вовсе не считал телефон своим наиболее важным изобретением. Действительно, Белл отдавал предпочтение другому изобретению, которое, как он предсказывал, окажет революционизирующее влияние на средства связи.

Белл был одержим идеей передачи голоса при помощи луча света! Обратившись к Солнцу как к единственному надежному источнику света высокой интенсивности, который был в его распоряжении, Белл попытался использовать его как многоцелевое средство связи. Свое изобретение он назвал *фотофоном*.

Большую часть последних лет своей жизни Белл провел в безуспешных попытках расширить область применения фотофона. До смерти Белла в 1922 г. фотофон находил лишь ограниченное военное применение.



Как ни странно, его мечта о передаче сообщений с помощью света наконец сбылась более чем через 100 лет после рождения идеи. Нет, мы не используем солнечный свет в сколько-нибудь значительной степени для связи, зато мы *научились* с помощью энергии солнца возбуждать излучатели, названные лазерами, и направлять лучи лазеров по стеклянному волокну, толщина которого не превосходит толщины волоса.

Настала эра волоконной оптики, и становится реальностью идея всеобъемлющей связи, впервые высказанная гениальным изобретателем телефона.

Разве не интересно пройти по следам знаменитого изобретателя и заново открыть для себя фотофон? Так давайте сделаем это.

Воспоминания о прошлом

Все это произошло в один прекрасный день в 1878 г., однако мы забежали вперед в нашем повествовании.

Белла очень интересовали средства связи, о чем свидетельствуют его многочисленные изобретения. Но, кроме того, он восхищался светом, который очаровывал его.

Уже во времена Белла было известно солнечное электричество. Связанные с ним явления впервые наблюдались Эдмоном Беккерелем в 1839 г., т. е. за 8 лет до рождения Белла. Проводя серию экспериментов по электричеству, Беккерель погрузил два металлических электрода в проводящий раствор и подверг установку воздействию солнечного света. К его большому удивлению, между электродами возникло небольшое электрическое напряжение.

Это открытие прошло в основном незамеченным до 1873 г., когда Уиллоуби Смит обнаружил аналогичный эффект, подвергая воздействию света кусочек селена. Эффект был незначителен, но этот момент следует считать настоящим рождением твердотельных солнечных элементов.

Почему вообще происходили подобные явления? Это было необходимо с точки зрения классической физики! Но Белла такие вопросы не волновали. Он был практически мыслящим человеком, и его воображение занимала мысль о создании работающего от света телефонного аппарата. В течение следующих нескольких лет он с огромным интересом следил за медленным прогрессом в области фотоэлектричества и фотоприборов.

В 1878 г. у него зародилась идея фотофона. Работая с селеновыми детекторами, Белл сконструировал и экспериментировал со многими вариантами этого прибора.

Хотя ранние эксперименты были довольно простыми, тем не менее они были успешными. 1 апреля 1880 г. Александр Грейам Белл слушал голос своего помощника Самнера Тейнтера, когда его слова переносились лучом света на расстояние более 200 м. Световое переговорное устройство д-ра Белла стало реальностью.

Именно на этих последовавших один за другим успехах Белл основывал свои предсказания дальнейшего развития техники связи, казавшиеся тогда фантастикой. Например, он был твердо убежден, что в будущем люди будут путешествовать только с помощью света.

Фотофон

Разрабатывая многочисленные приспособления к фотофону и совершенствуя его конструкцию, Белл заметил, что наиболее чувствительными были приборы, в которых в качестве детектора света использовалось селеновое сопротивление. Разумеется, он работал без электронных усилителей.

Вместо этого для усиления сигналов он использовал фокусирование света. В поисках наилучшей оптической системы Белл сконструировал разнообразные системы линз и зеркал. Один из детекторов Белла состоял из расположенных по кругу селеновых элементов, на которые с помощью собирающей линзы фокусировался свет. В другой конструкции детекторы располагались на цилиндрической поверхности и помещались в фокусе параболического зеркала.

Во всех его устройствах селеновые детекторы соединялись последовательно с батареей и высокоомным телефонным капсюлем. Когда модулированный свет падал на поверхность селена, он вызывал изменение в его сопротивлении, которое преобразовывалось в звуковые волны телефонным капсюлем.

Вы можете легко повторить его ранние эксперименты. Достаньте сначала фотодетектор. Конечно, их сейчас делают не такими, какими привык пользоваться Белл, но фотодетектор модели VT312/2 фирмы Vactec очень похож на белловский. Он представляет собой селеновое фотосопротивление с небольшой примесью кадмия для улучшения характеристик. В нем фактически два детектора. Белл часто использовал несколько детекторов для увеличения чувствительности.

Детекторы соединяются последовательно и помещаются в фокусе параболического отражателя. Подойдет отражатель любого размера, однако, чем больше его чаша, тем больше дальность связи. Посмотрите каталог фирмы Edmund Scientific Co. (7785, Edscorp Bldg., Barrington, NJ 08007). У них имеется богатый выбор параболических и френелевских отражателей.

Детектор можно закрепить в фокусе отражателя с помощью звездообразного держателя, подобного изображенному на рис. 1.

Детектор образует с батареей и высокоомным телефонным капсюлем общую электрическую цепь. Для этой цели подойдет 12-вольтовая батарея, например автомобильный аккумулятор или несколько батареек для фонарика, соединенных последовательно. Величина напряжения здесь не играет роли.

С другой стороны, телефонный капсюль не так просто найти. Капсюли, используемые в современных телефонах, имеют в отличие от своих предшественников низкое сопротивление и в нашем случае плохо работают. Можно обратиться к радиолюбителям, у которых есть пара старых высокоомных наушников. В крайнем случае они

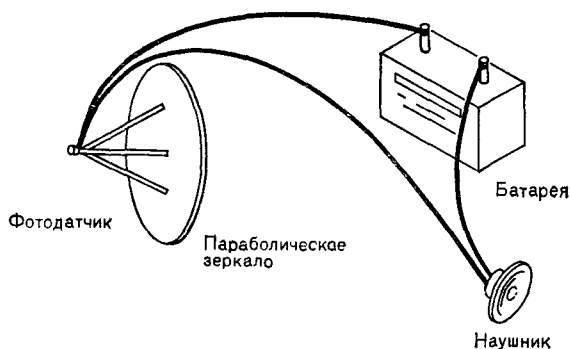


Рис. 1

знают, где их можно достать. Как вы понимаете, такие наушники теперь не так популярны, как раньше.

Все эти детали, соединенные последовательно, составляют приемную часть фотофона. Теперь дело за передающей частью.

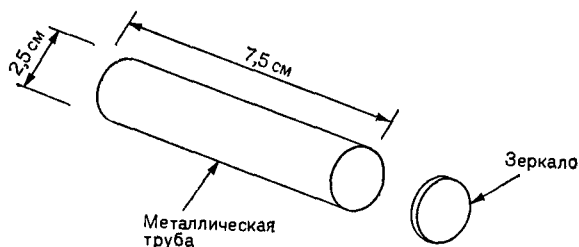


Рис. 2

Во многих своих ранних исследованиях Белл не пытался оптимизировать передающую часть фотофона. Свое внимание он сосредоточил на совершенствовании оптоэлектронной схемы приемника. Благодаря этому многие из его ранних конструкций отличаются простотой в лучшем смысле этого слова.

Среди интересных конструкций была металлическая труба диаметром 2,5 см и длиной 5—7,5 см. С одного конца трубы он прикрепил зеркало, как показано на рис. 2. Когда в трубу говорят, звуковые волны заставляют зеркало вибрировать и модулируют свет от источника. Вы можете пойти дальше, заменив жесткое зеркало на конце трубки куском металлизированной пленки.

Теперь настал наиболее увлекательный момент — испытание фотофона. Это необходимо делать по крайней мере вдвоем. Пусть ваш друг держит передатчик у рта, встанет лицом к солнцу и подберет такой угол наклона зеркала передающего устройства, чтобы часть света отразилась на ваше приемное устройство.

В то время как ваш друг говорит в трубку, перемещайте параболический рефлектор до тех пор, пока он не пересечет световой луч и не сфокусирует его на детекторе. Будьте осторожны при наводке рефлектора. Не направляйте приемник непосредственно на солнце, поскольку сконцентрированный солнечный свет может быстро испортить ваш детектор.

Первое испытание проведите на небольшом расстоянии, поскольку малейшее перемещение вашего друга на большом расстоянии весьма значительно сказывается на сигналах, усиливаемых фотофоном, и затрудняет настройку. После настройки слушайте в телефоне голос своего друга.

Увеличение дальности действия фотофона

Имеется несколько способов увеличения дальности действия фотофона. Один из них основан на увеличении размеров параболического отражателя, другой — на усилении сигнала передатчика путем увеличения размеров закрепленного на нем зеркала. Возможно, вам удастся натянуть алюминизированную майларовую пленку на один из концов большой консервной банки.

Можно повысить чувствительность детектора. Вероятно, вам захочется поэкспериментировать с различными светочувствительными элементами, меняя их расположение, как это делал Белл. Изменение напряжения батареи и сопротивления наушника также приведет к изменению чувствительности приемника. Конечно, в схеме фотофона можно использовать современную электронику. Параметром, ограничивающим чувствительность приемника, является выходное напряжение фотодетектора. Наилучший способ увеличить выходное напряжение — это пропустить его через усилитель. На рис. 3 показано, как можно это сделать. Сначала замените фотосensительнее в этих условиях и заведомо менее подвержен порче при попадании прямых солнечных лучей.

Схема $IC1$ — предварительный каскад усиления слабого сигнала от солнечного элемента. Элемент связан по переменной составляющей со входом схемы через конденсатор $C1$. Благодаря такой связи фотоэлектрического элемента можно «отсечь» весь свет, за исключением модулированного.

Резисторами $R1$ и $R2$ определяется коэффициент усиления предусилителя, равный отношению величин $R1/R2$. При увеличении расстояния между передатчиком и приемником значения этих сопротивлений следует изменить.

Однако не устанавливайте коэффициент усиления слишком большим, иначе схема будет самовозбуждаться. Подавить паразитную генерацию можно, подключив емкости параллельно резисторам $R2$ и $R3$, но при этом ухудшится частотная характеристика прием-

ника. Изменяя величину $R2$, необходимо на столько же изменить и величину $R3$, поскольку величины этих сопротивлений всегда равны.

Сигнал с выхода предусилителя подается на регулятор громкости $R4$, откуда поступает на оконечный усилитель $IC2$. Этот усилитель повышает уровень сигнала до значения, необходимого для

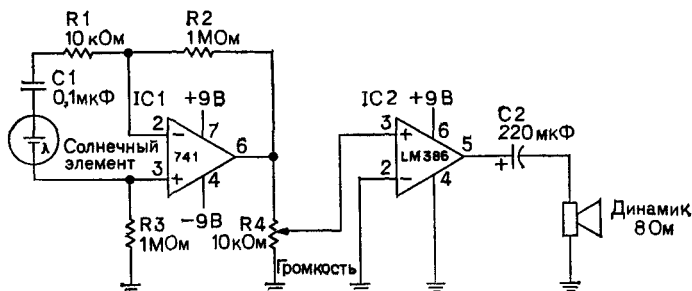


Рис. 3

работы громкоговорителя. Довольно неплохо по сравнению с тем, что было без усилителя.

Изготавливая схему, обратите внимание, что требуются два источника питания, $+9В$ и $-9В$. Подойдут 9-вольтовые батареи для транзисторного приемника. Однако величина напряжения питания не критична, и можно использовать любые имеющиеся в наличии источники питания в диапазоне $6-15 В$.

Улучшение характеристик передатчика

Улучшить чувствительность фотофона можно, присоединив к передатчику усилитель, схема которого дана на рис. 4. В ней используется тот же интегральный усилитель мощности LM386, что и на рис. 3, однако на его вход подается сигнал с микрофона, а не с солнечного элемента.

Выход усилителя мощности нагружается на небольшой динамик диаметром 5 см, подобный используемому в карманных транзисторных приемниках. Поверх динамика натягивается кусок алюминизированной майларовой пленки. Когда вы говорите в микрофон, ваш голос усиливается и подается на динамик. В свою очередь динамик заставляет вибрировать покрытую зеркальным слоем пленку и модулирует солнечный луч. Чтобы еще более увеличить дальность связи, необходимо увеличить размер динамика, а следовательно, его отражающую поверхность.

Я наблюдал за опытами, в которых небольшие осколки зеркала приклеивались непосредственно к колеблющейся диафрагме динамика

ка. Однако я не могу ручаться за эффективность подобного устройства, поскольку никогда его не испытывал. Вероятно, оно действует как чашеобразный отражатель.

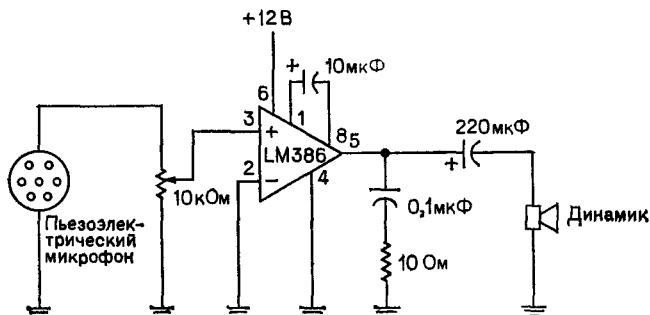


Рис. 4

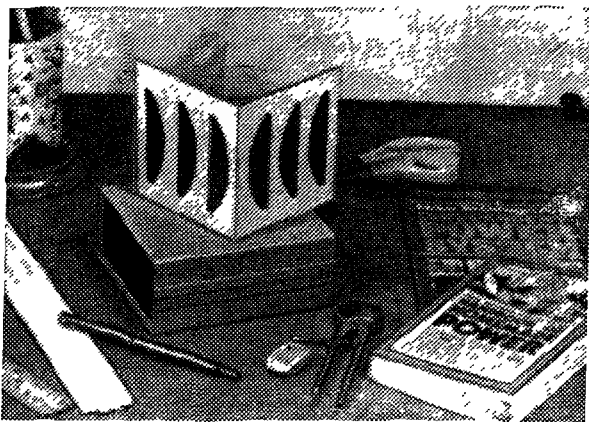
В процессе совершенствования фотофона Белл и Тейнер нашли более 50 способов модуляции светового луча голосом, в том числе схемы с переменной поляризацией, которые используются в настоящее время в сложных устройствах лазерной связи.

Заключение

Если вы однажды увлеклись созданием системы оптической связи, трудно затем не думать об этой волнующей проблеме. В поздние годы своей жизни Белл предсказывал ей большое будущее. Проекты оптической связи, начатые опытами Белла, воплощаются в жизнь. К сожалению, проекты изобретателя не были реализованы при его жизни.

УСТРОЙСТВО СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

До сих пор при эксплуатации солнечных батарей мы довольствовались общей дисперсией солнечного света. Правда, учитывались некоторые сезонные изменения, а также время суток (ориентирование в направлении восток — запад). Тем не менее солнечные батареи оставались более или менее зафиксированными в однажды найденном рабочем положении. В ряде случаев мы даже не придавали этому особого значения, приблизительно выставляя батарею в направлении солнца.



Однако из опыта известно, что солнечные элементы генерируют максимальную энергию, только когда они располагаются точно перпендикулярно направлению солнечных лучей, а это может случиться только один раз в день. В остальное время эффективность работы солнечных элементов составляет менее 10 %.

Предположим, что вы смогли проследить за положением солнца на небосклоне? Другими словами, что случилось бы, если бы вы поворачивали солнечную батарею в течение дня так, чтобы она всегда была направлена непосредственно на солнце? Только благодаря изменению этого параметра вы повысили бы полную отдачу от сол-

нечных элементов приблизительно на 40 %, что составляет чуть ли не половину вырабатываемой энергии. Это означает, что 4 ч полезной солнечной интенсивности автоматически превращаются почти в 6 ч. Следить за солнцем совсем не сложно.

Принцип работы следящего устройства

Следящее устройство состоит из двух частей. Одна из них объединяет механизм, приводящий в движение приемник солнечного излучения, другая — электронную схему, управляющую этим механизмом.

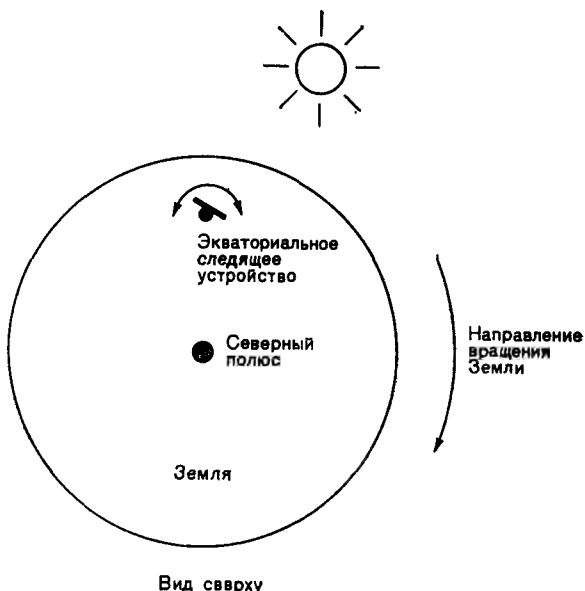


Рис. 1

Был разработан ряд методов слежения за солнцем. Один из них основан на креплении солнечных элементов на держателе, параллельном *полярной оси*¹⁾. Возможно, вы слышали о подобных устройствах, называемых экваториальными следящими системами. Это популярный термин, используемый астрономами.

Благодаря вращению Земли нам кажется, что Солнце движется по небосклону. Если бы мы учли это вращение Земли, Солнце, образно выражаясь, «остановилось» бы.

Подобным образом действует экваториальная следящая система. Она имеет вращающуюся ось, параллельную полярной оси Земли.

¹⁾ Оси, сонаправленной с осью вращения Земли.— *Прим. перев.*

Если закрепить за ней солнечные элементы и вращать их вперед и назад, получится имитация вращения Земли (рис. 1).

Угол наклона оси (полярный угол) определяется географическим положением и соответствует широте места, в котором смонтировано устройство. Предположим, вы живете в местности, соответствующей 40° с. ш. Тогда ось следящего устройства будет повернута на угол 40° к горизонту (на Северном полюсе она перпендикулярна поверхности Земли, рис. 2).

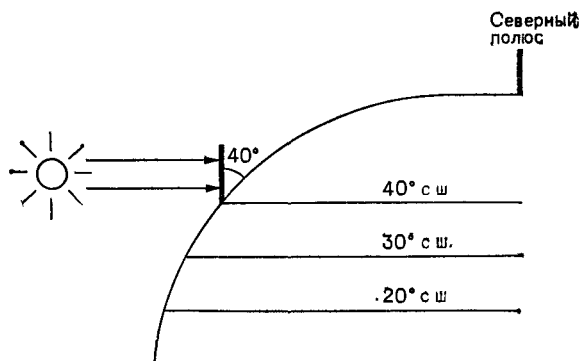


Рис. 2

Вращение солнечных элементов на восток или запад относительно этой наклонной оси будет имитировать движение солнца по небосклону. Если мы будем поворачивать солнечные элементы с угловой скоростью вращения Земли, мы сможем полностью «остановить» Солнце.

Это вращение осуществляется механической системой следящего устройства. Для вращения солнечных элементов вокруг оси необходим двигатель. В любой момент суточного движения солнца плоскость солнечных батарей будет теперь перпендикулярна направлению солнечных лучей.

Электронная часть следящего устройства выдает ведущему механизму информацию о положении Солнца. По электронной команде панель устанавливается в нужном направлении. Как только солнце сместится к западу, электронный регулятор запустит электродвигатель до тех пор, пока снова не восстановится нужное направление панели на солнце.

Характеристики следящего устройства

Новизна нашего следящего устройства состоит не только в осуществлении ориентации солнечных элементов на солнце, но и в том, что они питают управляющий электронный «мозг». Это достигается

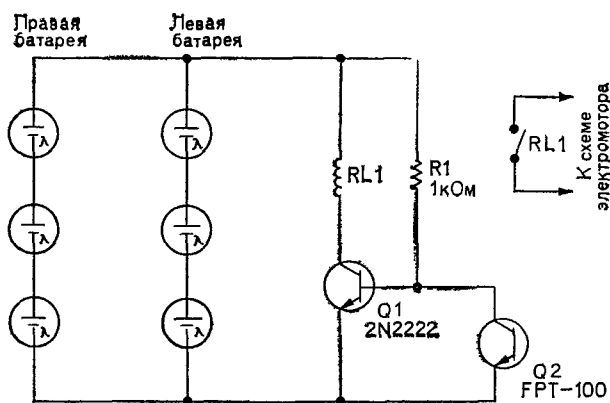


Рис. 3

благодаря уникальной комбинации конструктивных и электрических характеристик устройства.

Рассмотрим сначала особенности конструкции устройства, обратившись к рис. 3.

Солнечная батарея состоит из двух панелей, содержащих по три элемента, соединенных последовательно и размещенных на плоскостях прозрачного пластмассового корпуса. Панели соединены параллельно.

Эти панели монтируются под прямым углом друг к другу. В результате по крайней мере один из модулей будет постоянно освещен солнцем (с учетом рассмотренных ниже ограничений).

Сначала рассмотрим случай, когда все устройство расположено так, что биссектриса угла, образованного панелями, направлена точно на солнце. При этом каждая панель наклонена под углом 45° к солнцу (рис. 4) и вырабатывает электрическую энергию.

Если повернуть устройство на 45° вправо, правая панель займет параллельное положение, а левая — перпендикулярное солнечным лучам. Теперь только левая панель генерирует энергию, правая — бездействует.

Повернем устройство еще на 45° . Свет продолжает попадать на левую панель, но под углом 45° . Как и раньше, правая сторона не освещается и, следовательно, не генерирует никакой энергии.

Можно повторить подобное вращение и в левую сторону, при этом правая панель будет генерировать энергию, а левая — бездействовать. В любом случае *хотя бы одна* батарея вырабатывает электроэнергию. Поскольку панели соединены параллельно, устройство всегда будет вырабатывать электроэнергию. Во время нашего эксперимента модуль вращался на 180° .

Таким образом, если конкретное устройство закрепить так, чтобы стык панелей был направлен на полуденное солнце, на выходе солнечной батареи всегда будет вырабатываться электрическое напря-

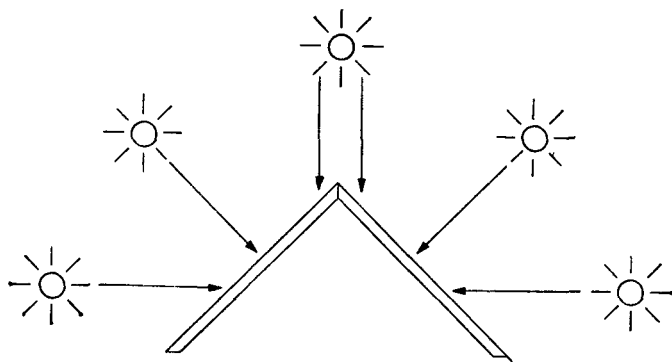


Рис. 4

жение независимо от положения солнца на небосклоне. От рассвета и до заката какая-то часть устройства будет освещаться солнцем.

Прекрасно, но зачем все это? Сейчас узнаете.

Электронная система слежения за солнцем

Чтобы следить за движением солнца по небосклону, электронная схема управления должна выполнять две функции. Прежде всего она должна решить, есть ли вообще необходимость в слежении. Нет смысла тратить энергию на работу электромотора, если отсутствует достаточное солнечное освещение, например при наличии тумана или облачности. Вот для какой цели прежде всего необходимо описанное выше устройство!

Чтобы понять принцип его действия, обратимся к электронной схеме, приведенной на рис. 3. Сначала сконцентрируем свое внимание на реле $RL1$. Для упрощения дальнейших рассуждений предположим, что транзистор $Q1$ находится в состоянии насыщения (проводит ток), а транзистор $Q2$ отсутствует.

Реле $RL1$ — элемент схемы, реагирующий на протекающий через него ток. В реле имеется проволочная катушка, в которой энергия электрического тока преобразуется в энергию магнитного поля. Напряженность поля прямо пропорциональна силе тока, протекающего через катушку.

При увеличении тока наступает момент, когда напряженность поля возрастает настолько, что якорь реле притягивается к сердечнику обмотки и контакты реле замыкаются. Этому моменту соответствует так называемый порог срабатывания реле.

Теперь ясно, почему реле используется при измерении пороговой интенсивности солнечной радиации с помощью солнечных элементов. Как вы помните, ток солнечного элемента зависит от интенсивности света. В нашей схеме к реле фактически подключены две солнечные панели, и пока они не генерируют ток, превышающий порог срабатывания, реле не включается. Таким образом, именно количество падающего света определяет порог срабатывания.

Если сила тока чуть меньше минимального значения, то схема не работает. Реле и солнечная батарея подобраны так, что реле срабатывает при интенсивности света, достигающей 60 % от максимальной величины.

Так решается первая задача следящей системы — определение уровня интенсивности солнечного излучения. Замкнутые контакты реле включают электродвигатель, и система начинает искать ориентацию на солнце.

Вот мы и подошли к следующей задаче, а именно к нахождению точной ориентации солнечной батареи на солнце. Для этого вернемся к транзисторам Q1 и Q2.

В коллекторной цепи транзистора Q1 стоит реле. Чтобы включить реле, необходимо замкнуть транзистор Q1. Резистором R1 задается ток смещения, которым открывается транзистор Q1.

Транзистор Q2 представляет фототранзистор, его базовая область освещается светом (у обычных транзисторов на базу подается электрический сигнал). Ток коллектора фототранзистора прямо пропорционален интенсивности света.

Резистор R1 кроме того, что он задает ток смещения транзистора Q1, используется также в качестве нагрузки транзистора Q2. Когда база транзистора Q2 не освещается светом, коллекторный ток отсутствует и весь ток, проходящий через резистор R1, течет через базу, насыщая транзистор Q1.

По мере увеличения освещения фототранзистора начинает течь коллекторный ток, который протекает только через резистор R1. Согласно закону Ома, увеличение тока через фиксированный резистор R1 приводит к возрастанию на нем падения напряжения. Таким образом, изменяется и напряжение на коллекторе Q2.

Когда это напряжение станет меньше 0,7 В, произойдет предсказанное явление: пропадает смещение транзистора Q1 в силу того, что ему требуется по крайней мере 0,7 В, чтобы протекал базовый ток. Транзистор Q1 перестанет проводить ток, реле RL1 выключится, и его контакты разомкнутся.

Этот режим работы будет иметь место только тогда, когда транзистор Q2 направлен непосредственно на солнце. При этом поиск точной ориентации на солнце прекращается благодаря размыканию цепи питания двигателя контактами реле. Теперь солнечная батарея точно направлена на солнце.

Когда солнце уходит из поля зрения транзистора Q2, транзистор

Q1 включает реле и механизм снова приходит в движение. И опять находит солнце. Поиск повторяется многократно при движении солнца по небосклону в течение дня.

К вечеру интенсивность освещения падает. Солнечная батарея уже не может генерировать количество энергии, достаточное для питания электронной системы, и контакты реле размыкаются в последний раз. Ранним утром следующего дня солнце освещает батарею следящей системы, ориентированную на восток, и работа схемы начинается снова.

Аналогичным образом происходит размыкание контактов реле, если освещенность снижается из-за плохой погоды. Предположим, например, что с утра прекрасная погода и следящая система начала работу. Однако в полдень небо стало хмуриться и снижение освещенности привело к прекращению работы следящей системы до тех пор, пока небо снова не прояснится после полудня, а может быть, на следующий день. Когда бы это ни произошло, следящая система всегда готова возобновить работу.

Конструкция

Смастерить устройство слежения достаточно просто, поскольку значительная часть деталей изготавливается из органического стекла.

Однако очень важным моментом является согласование характеристик солнечных батарей и реле. Необходимо отобрать элементы, генерирующие ток 80 мА при максимальной интенсивности солнечного излучения. Отбор можно осуществить с помощью тестирования. Для этой цели вполне подойдет тестер, описанный в гл. 2.

Я обнаружил, что серповидные элементы выдают в среднем ток около 80 мА. Поэтому из всех типов элементов, поступающих в продажу, для своего устройства я использовал именно эти элементы.

Обе солнечные панели аналогичны по конструкции. Каждая содержит три элемента, которые соединены последовательно и прикреплены к пластинам из оргстекла размером 10×10 см². Элементы будут постоянно подвержены воздействию окружающей среды, поэтому для них необходимо предусмотреть меры защиты.

Неплохо бы сделать следующее. Поместите готовую батарею на пластину из оргстекла, положенную на плоскую металлическую поверхность. Сверху накройте батарею сравнительно толстым (0,05—0,1 мм) слоем лавсановой пленки. Основательно прогрейте полученную конструкцию паяльной лампой, чтобы пластмассовые детали расплавились и спаялись вместе.

При этом будьте осторожны. Если положить пластину из оргстекла на недостаточно плоскую поверхность или перегреть ее, она может покоробиться. Все должно происходить аналогично приготовлению сэндвича с сыром на гриле.

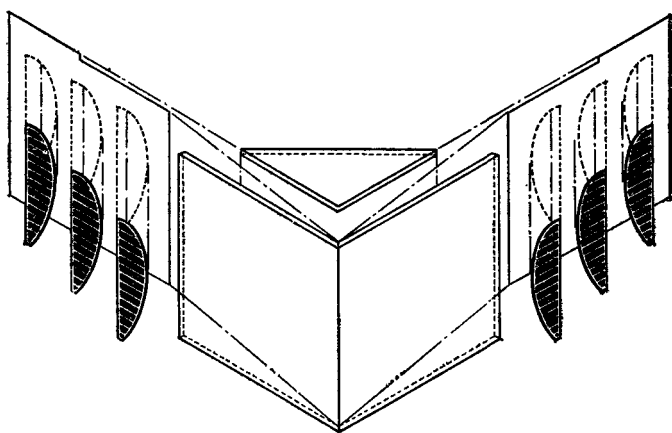


Рис. 5

По окончании проверьте надежность герметизации, в особенности по краям солнечных элементов. Может быть, потребуется слегка обжечь края лавсана, пока он еще горячий.

После того как панели достаточно остынут, склейте их вместе согласно рис. 5 и соедините их параллельно. Не забудьте припаять к батареям выводы, прежде чем собирать устройство.

Электронный мозг

Следующим важным элементом конструкции является реле. Практически реле представляет собой катушку, намотанную на герконовый контакт небольшого размера.

Обмотка реле состоит из 420 витков эмалированного медного провода № 36, намотанного на каркас достаточно малого размера, чтобы в него с натягом входил герконовый контакт. Я использовал в качестве каркаса соломинку для коктейля. Если вы прикоснетесь горячим лезвием ножа к концам соломинки, образуются как бы щечки каркаса, предохраняющие обмотку от сползания за края. Полное сопротивление обмотки должно составлять 20—30 Ом. Вставьте геркон в каркас и зафиксируйте его каплей клея.

Затем присоедините к реле транзистор Q1 и резистор R1. Не подключая транзистор Q2, подайте электропитание от солнечных элементов и проверьте работоспособность схемы.

Если все работает правильно, реле должно срабатывать, когда интенсивность солнечного света составляет около 60 % полной интенсивности. Для этого можно просто прикрыть 40 % поверхности солнечных элементов непрозрачным материалом, например картоном.

В зависимости от качества геркона, возможно, будут наблюдаться некоторые отклонения от идеального значения. Приемлемо начало работы реле при интенсивности света, составляющей 50—75 % максимально возможной величины. С другой стороны, если вы не уложились в эти пределы, необходимо изменить либо количество витков обмотки реле, либо ток солнечной батареи.

Количество витков обмотки реле следует менять в соответствии со следующим правилом. Если реле срабатывает раньше, количество витков необходимо уменьшить, если позже — увеличить. Если вы хотите поэкспериментировать с изменением тока солнечной батареи, подключите к ней шунтирующий резистор.

Теперь подсоедините к схеме фототранзистор Q2. Его надо поместить в светонепроницаемый корпус, иначе он не будет правильно работать. Для этого возьмите медную или алюминиевую трубу длиной около 2,5 см и диаметром, соответствующим диаметру корпуса транзистора.

Один конец трубы следует расплющить так, чтобы осталась щель шириной 0,8 мм. Закрепите трубу на транзисторе.

Готовая схема управления, содержащая элементы Q1, Q2, R1 и RL1, с целью герметизации заливается жидким каучуком.

От устройства выводятся четыре привода: два — от контактов реле, два — от солнечных батарей. Для заливки жидкого каучука используется форма из плотной бумаги (типа почтовой карточки). Для ее изготовления листом бумаги оберните карандаш и закрепите бумагу, чтобы она не развернулась. После засыхания слоя полимера вокруг схемы удалите бумажную форму.

Работа с устройством

Эксплуатировать следящее устройство достаточно просто. Для начала соберите несложный следящий механизм.

Укрепите вашу батарею на вращающейся оси. Вы можете закрепить батарею на подходящей раме, после чего присоединить раму к трубе, используя подшипники трения или качения. Затем установите мотор с редуктором для вращения рамы вокруг оси. Это можно сделать множеством способов.

Поскольку реле выполняет лишь функции включения и выключения в электронной схеме, необходимо иметь элементы, которые переключали бы напряжение вращения электромотора. Для этого необходимы концевые выключатели, располагаемые в крайних положениях рамы. Они подключаются согласно схеме, приведенной на рис. 6¹⁾.

¹⁾ Концевой выключатель № 1 включен на рис. 6 неверно. Для обеспечения правильной работы схемы выводы концевого выключателя необходимо подключить параллельно контактам реле RL1, включенным последовательно с реле. — *Прим. перев.*

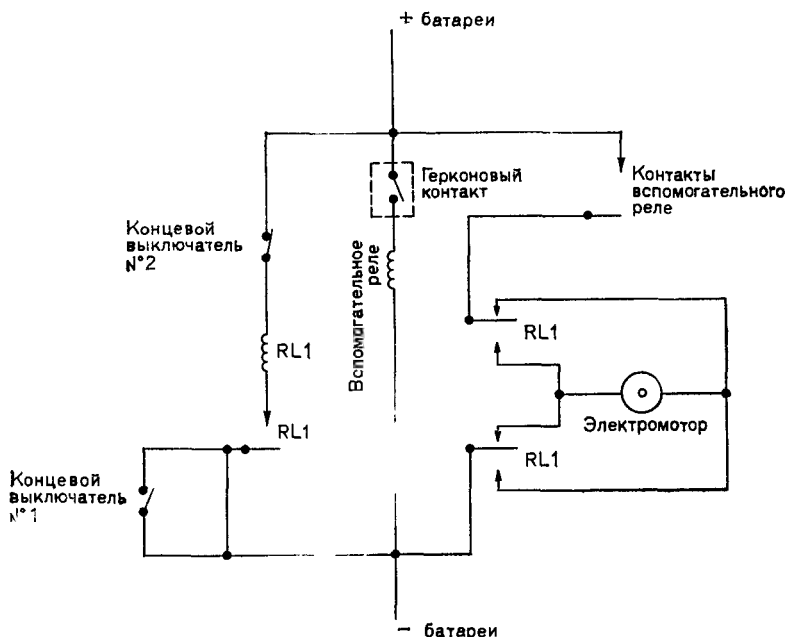


Рис. 6

Из рисунка видно, что это простая схема переключателя полярности. При подаче питания электромотор начинает вращаться. Направление его вращения зависит от полярности источника питания.

В момент подачи питания реле переключения полярности $RL1$ ²⁾ не срабатывает, потому что цепь питания его обмотки разорвана нормально разомкнутыми контактами. Электромотор вращает раму по направлению к концевому выключателю № 1. Этот выключатель расположен так, что рама упирается в него только в крайнем положении своего вращения.

При замыкании этого выключателя срабатывает реле $RL1$, которое меняет полярность питающего напряжения электромотора, и последний начинает вращаться в противоположном направлении. Хотя концевой контакт № 1 снова размыкается, реле остается включенным благодаря тому, что его контакты замкнуты.

При нажатии рамы на концевой выключатель № 2 цепь питания реле $RL1$ размыкается и реле выключается. Направление вращения мотора снова изменяется, и слежение за небосводом продолжается.

²⁾ Автор одинаково обозначает на схемах рис 3 и 6 различные реле. Во избежание путаницы в дальнейшем реле $RL1$ на рис 3 называется герконовым реле следящей системы, а его контакты на рис 6 называются герконовыми. Реле $RL1$ на рис 6 — более мощное, чем герконовое, с тремя группами переключающих контактов. — Прим. перев.

Цикл прерывается только с помощью герконового реле *RL1* из схемы слежения за интенсивностью солнечного излучения, которое управляет схемой питания электромотора. Однако реле *RL1* — слаботочный прибор и не может непосредственно коммутировать ток мотора. Таким образом, герконовое реле коммутирует вспомогательное реле, которое управляет электромотором, как показано на рис. 6.

Солнечные батареи системы слежения необходимо расположить вблизи механизма вращения. Угол их наклона должен совпадать с углом наклона полярной оси, а стык батарей направлен на полуденное солнце.

Электронный модуль подключается непосредственно к устройству вращения. Щель крышки фототранзистора ориентируйте параллельно полярной оси. Тем самым учитываются сезонные изменения в положении солнца над горизонтом.

Список деталей

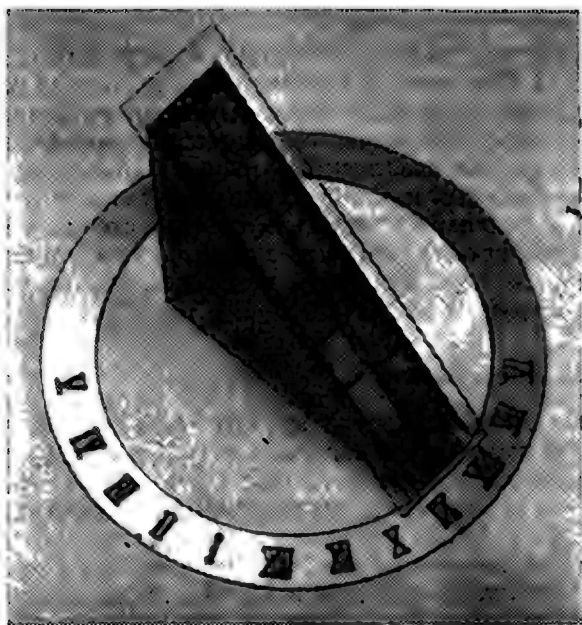
Q1—2N2222, транзистор
Q2—FPT-100, фототранзистор
R1—1000 Ом, резистор

RL1 — реле (см. текст)
6 кремниевых солнечных элементов,
каждый из которых генерирует ток
80 мА

СОЛНЕЧНЫЕ ЧАСЫ

Время быстротечно, и мы не можем управлять им. Тысячелетия человек пытается остановить время, но, увы, в результате лишь наблюдает его ход.

Солнечные часы — древнейший инструмент, позволяющий следить за ходом времени. Их использовали в течение веков, и то обаяние, которое присуще солнечным часам, по-видимому, никогда не поблекнет. Солнечные часы, которыми мы пользуемся в настоящее время, конструктивно такие же, что и в древние времена, они ни чуть не изменились за последние несколько тысячелетий.



В этой главе представлена совершенно новая конструкция, базирующаяся на принципе солнечных часов. Подобно другим самоделкам, наша конструкция полностью автономна и для работы не требует внешнего питания.

Работа классических солнечных часов

В классических солнечных часах время определяется по тени от гномона или штыря, отбрасываемой солнцем на круг с цифрами, соответствующими времени суток (рис. 1). Круг ориентирован так, что тень от штыря указывает на текущее время дня.

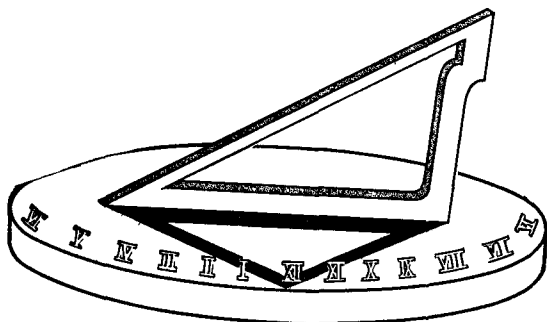


Рис. 1

Наши модернизированные солнечные часы работают весьма похожим образом. В отличие от традиционных солнечных часов с фиксированной базой наши часы имеют механизм, расположенный на поворотном столике. Последний соединяется с неподвижным основанием часов с помощью вала электромотора. Столик может поворачиваться низкооборотным мотором по окружности на угол 360° .

Мотором управляет сложная электронная схема. В отличие от классических солнечных часов преимущество данной схемы заключается в том, что электроника определяет положение тени и управляет мотором, следуя за солнцем.

Слежение за солнцем

Электронная схема содержит два фотодатчика (фототранзисторы $Q1$ и $Q2$) и два компаратора напряжения ($IC1$ и $IC2$) (рис. 2). Фотодатчики соединяются последовательно с резисторами $R1$ и $R2$, образуя делитель напряжения, сигнал с которого снимается в точке соединения $R1$ и $R2$.

Опорное напряжение на компараторы подается с делителя, образованного резисторами $R3$, $R4$ и $R5$. Таким образом, получается мостовая схема, одно плечо которой образовано элементами $Q1$, $R1$, $R2$ и $Q2$, другое — резисторами $R3$, $R4$ и $R5$. Второе плечо моста имеет необычный вид, так как выходной сигнал берется здесь не с общей точки, как это, например, сделано в первом плече моста. Вместо этого снимаются два различных напряжения с выводов резистора $R4$.

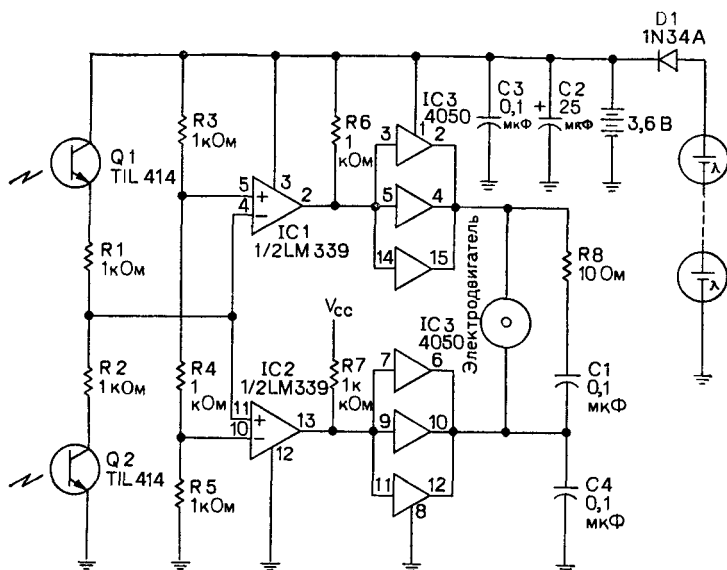


Рис. 2

Потенциал на верхнем выводе резистора R_4 выше потенциала на его нижнем выводе. Более высокое напряжение подается на компаратор IC_1 , более низкое — на IC_2 . Из-за различия в опорных напряжениях компараторы будут срабатывать при различных значениях входного напряжения.

Приглядевшись внимательно к схеме, можно заметить «перекрестное» соединение компараторов, т. е. отрицательный вход IC_1 соединен с положительным входом IC_2 . Это приводит к неожиданно эффекту.

Чтобы понять принцип работы схемы, подадим напряжение на ее вход. Предположим, что входное напряжение ниже опорного напряжения компаратора IC_2 . Рассматривая компаратор IC_1 , мы видим, что на его выходе появится высокий потенциал, поскольку напряжение на его неинвертирующем входе выше, чем на инвертирующем. С другой стороны, на выходе IC_2 будет отрицательный потенциал, потому что на его инвертирующем входе напряжение больше напряжения входного сигнала.

По мере увеличения входного напряжения наступает момент, когда напряжение на неинвертирующем входе IC_2 станет больше опорного напряжения, снимаемого с резистора R_5 . Компаратор IC_2 переключится, и на его выходе появится положительный потенциал. Однако компаратор IC_1 не реагирует на это изменение напряжения, так как напряжение на его входе на одну треть превышает опорное напряжение компаратора IC_2 .

Когда входной сигнал превысит опорное напряжение компаратора $IC2$, на его выходе появится отрицательный потенциал. Заметим, что выходные напряжения обоих компараторов одинаковы (положительны), когда входное напряжение заключено между верхним и нижним пределами, определяемыми резистором $R4$.

Изменение входного напряжения зависит от интенсивности света, падающего на фототранзисторы. Когда на фототранзистор $Q1$ падает больше света, чем на $Q2$, входное напряжение велико. Когда, наоборот, на $Q2$ падает больше света, чем на $Q1$, входное напряжение мало. Когда оба фототранзистора освещаются одинаково, сигнал принимает среднее значение между двумя пределами.

Привод

Подключив между выходами компараторов электромотор, мы фактически смогли бы управлять его вращением с помощью фототранзисторов. Как было показано ранее, оба выхода имеют положительный потенциал только при равном освещении фототранзисторов. Затенение транзистора $Q1$ приводит к переключению компаратора $IC1$, на его выходе устанавливается низкий потенциал, в то время как на выходе $IC2$ напряжение остается высоким. Мотор начнет вращаться.

Затемнение транзистора $Q2$ вызывает противоположный эффект.

На выходе $IC2$ устанавливается низкий потенциал, а $IC1$ остается высоким. Мотор тоже начнет вращаться, но в *другом* направлении. Другими словами, управление мотором осуществляется путем освещения фототранзисторов. Чтобы устранить неустойчивую работу мотора вблизи нулевой точки, создана зона нечувствительности путем подачи на компараторы различных опорных напряжений.

Фактически компаратор не может непосредственно управлять электродвигателем. Чтобы повысить мощность выходного сигнала компаратора, используется микросхема $IC3$, которая управляет электромотором.

Конструктивно наша модель выполнена так (рис. 3), что гномон (центральная подвижная деталь устройства) затеняет тот или другой транзистор в зависимости от положения солнца. Мотор приходит в движение и вращает поворот-

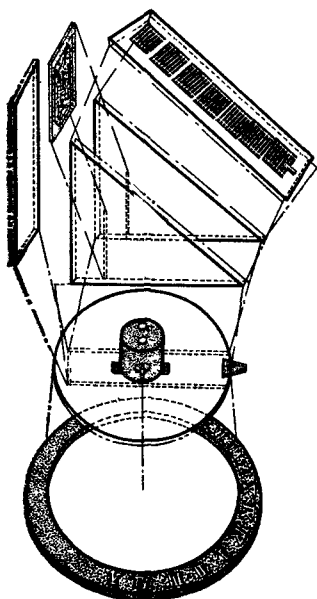


Рис. 3

ный столик до тех пор, пока оба транзистора не будут одинаково освещены, иными словами, одинаково точно направлены на солнце. Теперь по положению гномона можно определить время суток.

Внимательно прочитав вышеизложенное объяснение, вы, вероятно, заметили, что интенсивность света, необходимая для работы устройства, ничем не ограничивалась. Пока оба фотодатчика получают одинаковое количества света, все устройство находится в покое. Как только один фотодатчик получит больше света по сравнению с другим, мотор придет в движение.

Это означает, что солнечные часы будут следить за солнцем, даже если оно скрыто в дымке или облаках, чего не могли осуществить классические солнечные часы. Фактически, подобрав значение $R1$ и $R2$, можно даже следить за движением луны по ночному небу!

Солнечные часы получают электроэнергию от трех никель-кадмиевых аккумуляторов. Наряду с питанием мотора аккумуляторы осуществляют подачу электроэнергии на электронную схему. Заряд аккумуляторов осуществляется от небольшой солнечной батареи в течение дня. Чтобы предотвратить разрядку аккумуляторов через солнечную батарею ночью, в схему включен блокирующий диод.

Конструкция часов

Солнечные часы изготавливаются из листа акриловой пластмассы типа оргстекла. Сначала вырежьте из пластмассы круг диаметром 26 см. Из его центральной части удалите диск диаметром 21 см. Будьте осторожны и не расколите оставшееся кольцо: оно будет служить циферблатом, а меньший круг — «подвижным столиком».

Затем вырежьте из листа пластмассы квадрат со стороной 17 см. Разрежьте его по диагонали на два равнобедренных треугольника, которые будут служить боковинами нашего гномона.

Чтобы на фотодетекторы не попал свет, проникающий через прозрачные пластмассовые боковины, их необходимо покрасить, лучше всего *изнутри*. Окраска изнутри позволяет сохранить блеск пластмассы, причем создается ощущение ее глубины, и увеличить срок службы краски. Для окраски подойдет непрозрачный краситель любого цвета.

Наконец, вырежьте из пластмассы пластину длиной 24 и шириной 6 см, на которой разместите солнечную батарею. Батарею из девяти солнечных элементов размером $2,5 \times 5,3$ см² соедините последовательно и расположите вдоль длины пластины (длина батареи 22,5 см). Полное выходное напряжение батареи должно составлять 4 В при токе 100 мА. Используя данную информацию, в случае необходимости вы можете изменить конструктивные размеры батареи.

Теперь необходимо закрепить мотор (осью вниз) для вращения подвижного столика диаметром 21 см. Ось мотора пропускается

через высверленное в центре столика отверстие, а сам мотор укрепляется на столике с помощью двух винтов или клея.

Прежде чем продолжить работу, в каждом треугольнике необходимо просверлить по отверстию диаметром 6 мм. Проведите мысленную линию между основанием прямоугольного треугольника и вершиной прямого угла. Эта линия — высота треугольника, если за основание принять гипотенузу. Отверстие просверливается приблизительно на расстоянии 5 см от вершины под углом 45° к плоскости треугольника в сторону его основания (гипотенузы). По окончании сборки печатной платы в этих отверстиях будут закреплены фототранзисторы.

Конструкция печатной платы

На печатной плате располагается электронная часть схемы солнечных часов. Рисунок проводников печатной платы показан на рис. 4, размещение деталей на плате — на рис. 5. Все элементы необходимо припаять в соответствующих точках платы, за исключением фототранзисторов.

Фототранзисторы размещаются в последнюю очередь. Фототранзистор $Q1$ припаявается с одной стороны печатной платы, а $Q2$ — с другой. Оставьте полную длину выводов транзисторов, не укорачивайте их. Теперь припаяйте выводы мотора и аккумуляторной батареи к печатной плате.

На данном этапе необходимо провести предварительную проверку работоспособности схемы. Аккуратно подогните выводы фототранзисторов так, чтобы транзисторы смотрели в одну сторону. Если схема сбалансирована точно, устройство должно быть неподвижно. При попеременном закрывании фототранзисторов мотор должен вращаться в противоположные стороны.

Если при точном направлении на источник света мотор продолжает вращаться, значит, характеристики фототранзисторов не совпадают. Если различие невелико, то его можно устранить, подобрав номиналы резисторов $R1$ и $R2$. Проконтролировать балансировку моста можно, подключив к точке соединения резисторов вольтметр. При большом разбалансе необходимо подобрать фототранзисторы с близкими характеристиками.

Теперь настало время окончательной сборки солнечных часов. Вклейте по одному фототранзистору в отверстия диаметром 6 мм, высверленные в треугольных боковинах. Необходимо аккуратно укрепить треугольные боковины на поворотном столике, тогда фототранзисторы будут направлены под углом 45° к горизонту.

Приклейте окрашенные треугольные боковины к поворотному столику акриловым клеем. Их необходимо расположить параллельно друг другу на равном расстоянии от краев столика, это расстояние зависит от размеров используемого мотора.

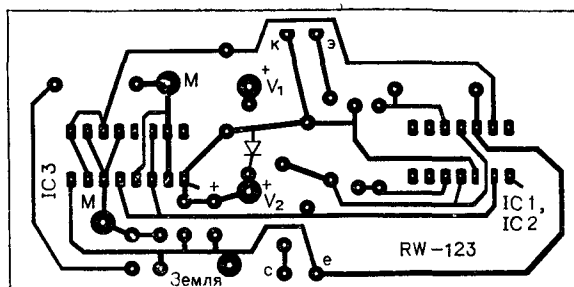


Рис. 4

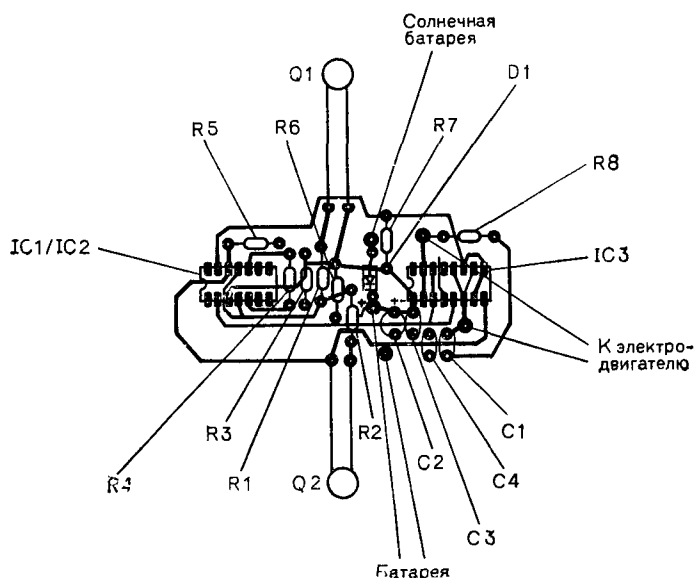


Рис. 5

Аккуратно, чтобы не расплавить пластмассу, припаяйте проводники, идущие от солнечной батареи к печатной плате. Затем приклейте пластину с размещенной на ней солнечной батареей к длинным сторонам треугольных боковин. Вы увидите, что края пластины выступают за стороны треугольных пластинок приблизительно на 6 мм. Это сделано специально.

Выступающий край отбрасывает тень на боковину гномона и слегка затеняет фототранзистор. Во избежание просвечивания пластины в этих местах следует закрасить края непрозрачной краской.

Необходимо избегать попадания краски на склеиваемые участки деталей. Лучше закрашивать эти участки после склейки.

Если монтаж выполнен правильно, мотор будет вращать поворотный столик в соответствии с затенением фотодатчиков. При вращении платформы в противоположную сторону поменяйте местами выводы мотора.

И наконец, для защиты гномона от воздействия дождя и влаги заклейте оставшуюся открытой сторону полоской пластмассы размером 17×5 см². Эту деталь также необходимо закрасить во избежание нежелательной засветки.

Окончательная отделка

Чтобы часы начали работать, необходимо прикрепить вал мотора к поддерживающему основанию. Им может служить кусок дерева, металла, камня или другого материала, в который вставляется и приклеивается металлическая втулка с отверстием под вал мотора.

Большое пластмассовое кольцо, вырезанное из пластика при изготовлении поворотного столика, располагается вокруг солнечных часов и служит для индикации времени. Оно также крепится на внешнем основании.

Солнечные часы неплохо выглядят, если сначала покрасить круг золотистой или медной краской, а затем прикрепить к нему 13 римских цифр. Начните с цифры VI (6) и располагайте цифры на полукруге, двигаясь по часовой стрелке, пока вновь не достигнете цифры VI (6).

Обе цифры VI (6) располагаются друг против друга (под углом 180°), а римская цифра XII (12), соответствующая полдню, — под прямым углом (90°) к обеим цифрам VI. Фактически циферблат часов сжат до полукруга, другая половина остается чистой (ночные часы).

Чтобы выставить солнечные часы, просто поверните круг, пока указатель не покажет правильное время, после этого зафиксируйте его. При движении солнца по небосклону гномон будет следовать за ним.

Коррекция времени

Соответственно сезонному изменению положения солнца на небосклоне наблюдается небольшое различие между истинным и показываемым временем. Ошибку можно скорректировать с помощью вычислений, используя данные таблицы.

Теперь у вас имеются современные солнечные часы с традиционным внешним видом.

Январь		Февраль		Март		Апрель	
1	+3,5	1	+13,4	1	+12,5	1	+4,0
6	+5,8	6	+14,1	6	+11,4	6	+2,6
11	+7,9	11	+14,3	11	+10,2	11	+1,2
16	+9,8	16	+14,2	16	+8,8	16	-0,1
21	+11,3	21	+13,7	21	+7,4	21	-1,2
26	+12,6	26	+13,0	26	+5,8	26	-2,1
Май		Июнь		Июль		Август	
1	-2,9	1	-2,3	1	+3,9	1	+6,3
6	-3,4	6	-1,5	6	+4,6	6	+5,8
11	-3,6	11	-0,6	11	+5,3	11	+5,2
16	-3,7	16	+0,4	16	+5,9	16	+4,3
21	-3,5	21	+1,6	21	+6,2	21	+3,2
26	-3,1	26	+2,6	26	+6,4	26	+1,9
Сентябрь		Октябрь		Ноябрь		Декабрь	
1	+0,1	1	-10,2	1	-16,4	1	-11,0
6	-1,5	6	-11,7	6	-16,3	6	-9,0
11	-3,2	11	-13,1	11	-16,0	11	-6,9
16	-5,0	16	-14,3	16	-15,2	16	-4,5
21	-6,8	21	-15,2	21	-14,2	21	-2,0
26	-8,5	26	-15,9	26	-12,8	26	+0,4

Список деталей

Резисторы

R1—R7—1 кОм

R8—10 Ом

Конденсаторы

C1, C3, C4—0,1 мкФ, дисковые

C2—25 мкФ, 6 В

Полупроводники

D1—1N34A

IC1, IC2—LM339

IC3—CD4050

Q1, Q2—TIL414, фототранзистор

Остальные элементы

9 солнечных элементов размером 2,5×3 см²

3 вкель-кадмиевых элемента

Держатель батарей

Электромотор (Edmund Scientific № 41-327)

Акриловый пластик (см. текст)

Готовая печатная плата с высверленными отверстиями поставляется фирмой Danocinths, Inc., P. O. Box 261, Westland, MI 48185 за 7,5 долл. плюс 1,5 долл. за заказ и пересылку. Номер по каталогу RW 123

ГЕЛИОСТАТ

Последние две главы позволили нам ознакомиться с солнечными следящими системами. Как вы смогли убедиться, следить за солнцем несложно. Однако обе следящие системы обладают одним и тем же недостатком: они отслеживают солнце только в одном направлении.

В устройствах, называемых экваториальными следящими системами, угол наклона оси к земле поддерживается постоянным. В связи с этим при смене времен года будет происходить постоянное снижение эффективности фотоэлектрического преобразования. Для получения максимальной эффективности необходимо вводить дополнительную регулировку угла наклона.

Удобство введения регулировки зависит от конкретной установки. Изменять величину полярного угла нецелесообразно, иначе пропадает сам смысл подобного следящего устройства. Поэтому необходимо подстраивать угол, под которым солнечная панель прикрепляется к оси.

Было бы полезно иметь солнечную следящую систему, способную отслеживать положение солнца в двух плоскостях, т. е. двухосевую следящую систему. Следящую систему с двумя степенями свободы часто называют *гелиостатом*.

Гелиостаты

Термин гелиостат часто используется для обозначения конструкций с солнечными батареями, однако это отчасти неверно. На самом деле гелиостат — это смонтированный на верхней поверхности опоры отражатель (зеркало) с приводом от мотора, который следит за солнцем и отражает его свет постоянно в одно и то же место. Поскольку именно гелиостат следит за солнцем, познакомимся с его работой поближе.

Гелиостат из-за сложности процесса движения, как правило, размещается на вертикальной опоре и приводится в движение азимутальной следящей системой. Азимутальная следящая система отличается от экваториальной по ряду существенных признаков.

Во-первых, опоры почти всех азимутальных систем устанавливаются вертикально (рис. 1). Вертикальная опора имеет множество

преимуществ перед наклонной, используемой для полярных следящих систем. Прежде всего в опоре отсутствуют какие-либо напряжения изгиба. Когда же опора наклонена, в месте соприкосновения ее с землей появляется напряжение.

Величина напряжения прямо пропорциональна весу оборудования, размещенного на опоре, и это всегда вызывает определенные трудности. С другой стороны, прямая колонна передает усилие вертикально вниз. Следовательно, если колонна не находится под боковым напряжением, она имеет облегченную конструкцию ¹⁾.

Конечно, встречаются наклонные опоры азимутальных следящих систем (расположенные под углом, равным широте местоположения установки). Но в этом случае их можно отнести к типу экваториальных следящих систем, если даже управление ими осуществляется в двух различных плоскостях.

Такой тип следящих систем в основном используют астрономы. И хотя телескоп поворачивается вокруг двух осей, постоянно используется лишь полярный привод. Угол места телескопа часто устанавливается лишь один раз.

Азимутальные следящие системы отличаются от экваториальных главным образом тем, что они одновременно отслеживают объект в двух различных плоскостях. Поэтому для привода требуются два мотора. Один мотор перемещает приемник солнечного излучения в горизонтальной плоскости, другой — в вертикальной. Нет никакого фиксированного положения или ориентации. Без каких-либо ограничений азимутальная следящая система может указывать в любую точку небосвода в любой момент времени.

Очевидно, что для обеспечения подобного диапазона перемещений требуется более сложное устройство, нежели простой часовой механизм ²⁾. Часто таким сложным движением управляет компьютер.

Конечно, в нашей следящей системе нам не нужен компьютер, однако некоторыми свойствами компьютерной логики мы восполь-

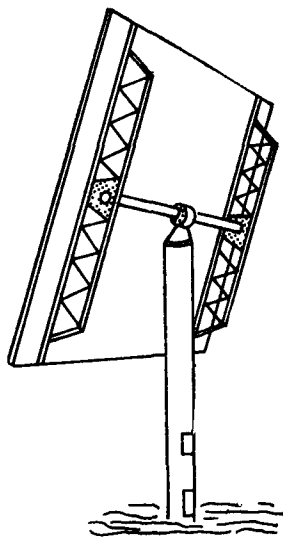


Рис. 1

¹⁾ Вспомните стебель одуванчика, который выдерживает вертикально приложенный вес цветка, но легко может сломаться при изгибе. — *Прим. перев.*

²⁾ Имеются в виду часовые механизмы, используемые для наведения телескопов в определенную точку звездного неба. — *Прим. перев.*

уемся. С помощью уникальной комбинации обычной тени, отбрасываемой предметами, и электронной логики мы сможем получить необходимые команды управления для слежения за Солнцем.

Принцип работы

Я считаю «мозгом» следящей системы светочувствительную головку вследствие ее особых свойств и формы. Сначала обратимся к механическим аспектам солнечного датчика. На рис. 2 головка показана в разобранном виде, а на рис. 3 — в собранном.

Чувствительная головка состоит из непрозрачного основания, в центре которого расположены четыре светочувствительных датчика. В нашем устройстве использованы для этой цели инфракрасные фототранзисторы.

Фототранзисторы разделяются двумя тонкими металлическими полукруглыми перегородками, в которых до середины выпилены пазы, что позволяет обеспечить соединение, как показано на рис. 2. Подобная конструкция предпочтительнее устаревшей картонной. Отметим, что каждый транзистор находится в своей отдельной секции.

Если вы расположите устройство, как показано на рис. 3, то все фототранзисторы, кроме одного (ближайшего к нам), скроются

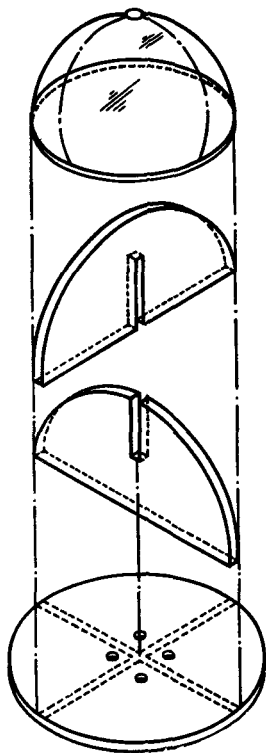


Рис. 2

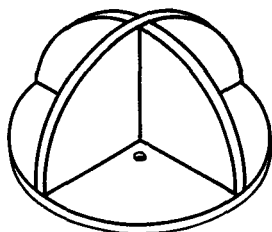


Рис. 3

из виду. Эта ситуация эквивалентна наиболее привычному рабочему положению устройства при освещении. Другими словами, один датчик улавливает солнечные лучи, в то время как другие находятся в тени. Воспользуемся этим явлением.

Расположим чувствительную головку так, чтобы ее перегородки были ориентированы в направлениях север — юг и восток — запад,

как показано на рис. 4. Каждая секция с фототранзистором помечена буквами *A*, *B*, *C*, *D*. Теперь рассмотрим различные варианты взаимного положения чувствительной головки и солнца.

Проведем что-то вроде упражнения по чтению карты. Когда солнце находится в направлении на север по отношению к чувствительной головке, оно освещает секции *A* и *B*. Солнечные лучи,

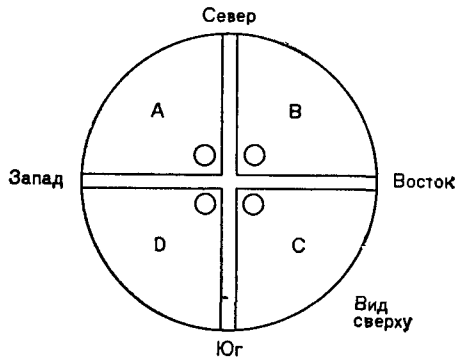


Рис. 4

падающие на чувствительную головку с востока, будут детектироваться фототранзисторами *B* и *C*. Если солнце находится на северо-востоке, свет будет попадать лишь на фотодатчик *B*.

Теперь идея понятна. Подобное рассмотрение справедливо для любых направлений падающих лучей. Читателю представляется возможность подробно разобрать все эти случаи.

Логика работы схемы

Информация, поступающая с этих четырех датчиков, используется следующей системой для отслеживания движения солнца по небосклону. Именно здесь используется компьютерная логика. Но для нее необходимо подготовить исходные данные.

Эту задачу решает схема, представленная на рис. 5. Для упрощения рассуждений сведем ее к блок-схеме.

Не вдаваясь пока в детали, достаточно сказать, что, когда фототранзистор *Q1* не освещен, на выходе микросхемы *IC2A* имеется напряжение высокого уровня. То же самое справедливо для фототранзисторов *Q2*, *Q3* и *Q4*: если они не освещены, на соответствующих выходах микросхемы *IC2* имеется высокий потенциал. Именно эти четыре выходных сигнала будут использоваться для управления двумя моторами.

Логическая задача управления решается микросхемой *IC3*. Она состоит из четырех элементов И-НЕ, объединенных в одном корпусе

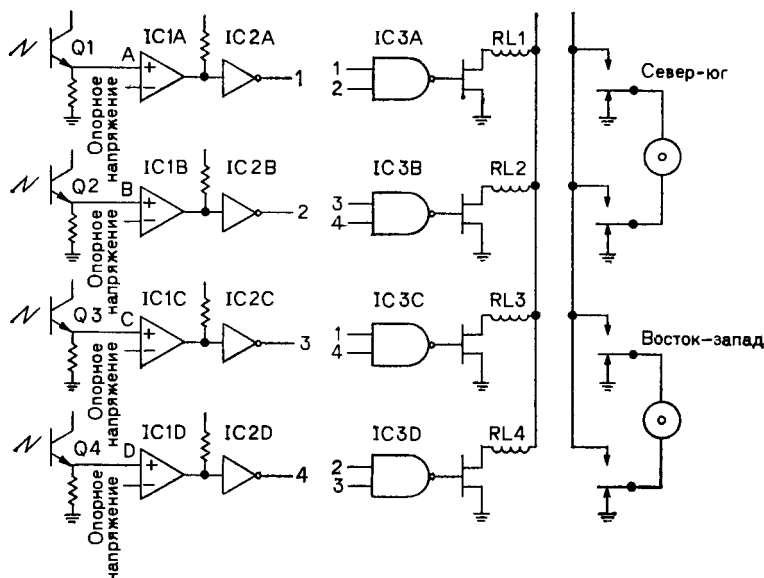


Рис. 5

(все четыре элемента работают независимо друг от друга). Если на оба входа элемента И-НЕ подать высокий потенциал, на выходе установится напряжение низкого уровня.

Чтобы понять, каким образом микросхема *IC3* преобразует эти беспорядочные данные в команды управления, рассмотрим пример. Предположим сначала, что на всех выходах инверторов *IC2* имеется высокий потенциал (что соответствует темному времени суток). Затем допустим, что лучи утреннего солнца попадают в секцию А, освещая фототранзистор *Q1*. В результате на выходе *IC2* устанавливается низкое напряжение.

На выходе *IC3* появится напряжение высокого уровня. Вспомним, что на выходе элемента И-НЕ будет присутствовать высокий потенциал, пока на *обоих* входах отсутствует большое напряжение. Звучит непривычно, но это — отрицательная логика.

Выходным напряжением элемента И-НЕ управляется полевой транзистор МОП-структуры с *V*-образными канавками, в цепи стока которого включено реле. Реле срабатывает, когда на выходе логического элемента появляется высокое напряжение. Всего в схеме четыре формирователя и четыре реле.

Контакты реле включены таким образом, что реле *RL1* и *RL2* управляют одним мотором, а реле *RL3* и *RL4* — другим. Тогда по сигналу с фототранзистора *Q1* микросхема *IC3A* включит реле *RL1*.

При замыкании контактов реле *RL1* на мотор подается напряжение, и азимутная следящая система поворачивается в северном направлении, потому что, если свет падает на *Q1*, солнце должно быть на севере. Так осуществляется поиск солнца системой.

Однако снижение выходного напряжения *IC2A* также приводит еще к одному результату. На выходе микросхемы *IC3C* (вход которой подключен к выходу *IC2A*) устанавливается высокий потенциал, и срабатывает реле *RL3*. Логическая схема *IC3C* вполне справедливо «решила», что солнце находится к западу от секций *B*, *C* и *D*, и начинает поворачивать систему в западном направлении.

В результате одновременно оба мотора перемещают устройство в северо-западном направлении, поскольку именно там находится солнце.

Освещение транзистора *Q4* будет соответствовать среднему положению солнца между северным и южным датчиками чувствительной головки. Как только это произойдет, на выходе микросхемы *IC2D* установится напряжение низкого уровня, а на выходе микросхемы *IC3B* — напряжение высокого уровня и сработает реле *RL2*. Оба вывода мотора подключаются к одному и тому же полюсу источника питания, и мотор остановится. В то же время следящая система продолжает поиск солнца в направлении на запад. Направление на солнце находится, когда оба транзистора, *Q2* и *Q3*, освещаются его лучами. В результате срабатывает реле *RL3* и мотор ориентировки системы в направлении восток — запад останавливается.

Когда освещены все четыре датчика, то включаются все четыре реле и моторы не работают. Чувствительная головка обнаружила солнце и теперь точно направлена в его сторону. Любое смещение солнца из этого положения вызовет затенение по крайней мере двух датчиков и повторное срабатывание логической схемы.

В рассмотренном выше примере солнце всходило на северо-западе, что, конечно, невозможно. Тем не менее подобное допущение было сделано, чтобы проиллюстрировать широкие возможности следящей системы гелиостата. Совершенно не важно, где взойдет солнце. Следящая система найдет это направление.

Преобразование сигнала

При объяснении принципа действия логической схемы специально не рассматривались важные особенности преобразования сигнала. Прделаем это теперь.

При функционировании схемы имеют место определенные явления. Каждый из четырех фототранзисторов работает независимо от других, поэтому процесс преобразования сигнала происходит четырехкратно. Тем не менее будем считать, что все четыре канала

работают идентично, и целесообразнее рассмотреть работу только одного из них.

Сначала свет преобразуется в электронный сигнал. Преобразованием света в электричество занимается фототранзистор. Чем больше света падает на фототранзистор, тем больший ток протекает через него.

В эмиттерной цепи транзистора включен резистор, на котором при протекании тока создается падение напряжения. Падение напряжения на резисторе прямо пропорционально протекающему току, который в свою очередь пропорционален интенсивности света. Следовательно, большая засветка вызывает увеличение напряжения.

С эмиттерного резистора напряжение подается на неинвертирующий вход компаратора напряжения. опорное напряжение приложено к инвертирующему входу. Когда напряжение, поступающее с эмиттерного резистора, превышает опорное, на выходе компаратора появляется напряжение высокого уровня. Если напряжение на эмиттере ниже опорного, на выходе компаратора появляется напряжение низкого уровня.

Работа схемы определяется величиной опорного напряжения. Как было показано в гл. 17, необходимым свойством следящей системы является возможность определения уровня интенсивности солнечного излучения, целесообразного для практического применения. Это можно сделать с помощью опорного напряжения.

Поскольку напряжение на эмиттерном резисторе является функцией интенсивности солнечного света, по величине этого напряжения можно судить о том, что интенсивность излучения достигает практически приемлемого уровня. Этот уровень определяет компаратор: входное напряжение превосходит опорное, достигнут необходимый световой уровень. Таким образом, реле не может сработать, пока напряжение на эмиттере не превзойдет значение, соответствующее минимальному уровню интенсивности солнечного излучения.

Более того, на все компараторы подается опорное напряжение от одного и того же источника, и, следовательно, одна установка напряжения действует на все компараторы. При увеличении порога срабатывания одного канала увеличивается порог срабатывания всех остальных.

В выходном каскаде компаратора стоит транзистор с открытым коллектором, к которому для снятия выходного сигнала необходимо подключить нагрузочное сопротивление. Для согласования с входом элементов И-НЕ и по логике работы выходной сигнал компаратора пропускается через инвертор.

Конструкция чувствительной головки

Если вы сразу воспользуетесь приводимыми рекомендациями, изготовление чувствительной головки не составит труда.

Затеняющие секции изготавливаются из тонкого металла, например из листа алюминия. Вырежьте из него круг диаметром около 10 см. Затем разрежьте его на два полукруга одинаковых размеров и формы.

Определите середину прямого края полукруга и восстановите из этой точки перпендикуляр до пересечения с полукругом. Отметьте середину перпендикуляра, она должна находиться на расстоянии 2,5 см от края. Прodelайте эти операции с обоими полукругами.

Отложите одну из деталей, чтобы не перепутать. Сделайте надпил в одной из деталей от основания (прямого края) до отметки середины перпендикуляра. В другой такой же детали прodelайте подобный надпил, но на этот раз от внешнего (закругленного) края в направлении центра до отметки середины перпендикуляра. Посмотрите, как это сделано на рис. 2.

Соедините детали вместе, как показано на рис. 3. Самое плотное соединение можно получить, если пользоваться ножовкой с толстой режущей кромки полотна, равной толщине металла. Полотно с мелкими зубчиками дает более тонкий разрез.

Основание головки можно сделать из дерева, пластмассы или металла. Хотя лучше всего использовать металл, его труднее обрабатывать.

В качестве основания берется круглый диск диаметром около 10 см, соответствующим размеру диска, используемого для изготовления затеняющих секций. Расчертите основание на четыре равных сектора, как при разрезании торта.

Ножовкой пропилите по этим линиям небольшие канавки глубиной по крайней мере 0,8 мм или более (как позволяет материал), но не глубже, чем на половину толщины.

По окончании вы должны получить крестообразную решетку с пересечением в центре круглого основания. Вид канавок должен напоминать перекрестие прицела в телескопической винтовке, такое же тонкое и аккуратное.

Просверлите в каждом квадранте по отверстию диаметром 6 мм как можно ближе к перекрестию канавок (рис. 4). Тем не менее между канавками и отверстиями необходимо оставить некоторый зазор.

Теперь все готово, чтобы прикрепить секции к основанию. Алюминиевые детали можно склеить эпоксидным клеем. Детали из другого металла можно спаять. Помните, что конструкция не рассчитана на какую-либо нагрузку, и, следовательно, самое важное, чтобы отдельные части головки были прочно соединены друг с другом.

Однако следует помнить, что в результате нагрева конструкции солнечными лучами появятся напряжения. В связи с этим нежелательно использовать материалы с различными коэффициентами теплового расширения и покрывать краской уже готовое собранное изделие.

Вставьте фототранзисторы в соответствующие отверстия и приклейте их. Коллекторные выводы подключаются к общему источнику питания, поэтому их можно соединить вместе. При использовании металлического основания общие выводы можно подсоединить к нему, поскольку основание служит «землей» и экранирует головку от внешних помех.

Наконец, необходимо закрыть устройство от воздействия неблагоприятных погодных условий прозрачным колпаком. Предпочтительнее использовать стекло, поскольку оно долговечнее. Подобный колпак можно найти в отделе сувениров или зоомагазине. Лучше сначала приобрести прозрачный колпак, а затем подогнать под него размер основания и секций. Приклейте защитный колпак к основанию жидким стеклом.

Конструкция печатной платы

Электронная часть схемы выполнена с применением печатного монтажа. Размещение деталей приведено на рис. 6, рисунок печатной платы — на рис. 7 и 8. Заметьте, что печатная плата двухсторонняя.

Из-за наличия реле печатная плата имеет достаточно большие размеры. Используются стандартные реле типа двухполюсного переключателя в прозрачном корпусе. Контакты рассчитаны на ток 10 А при переменном напряжении 125 В.

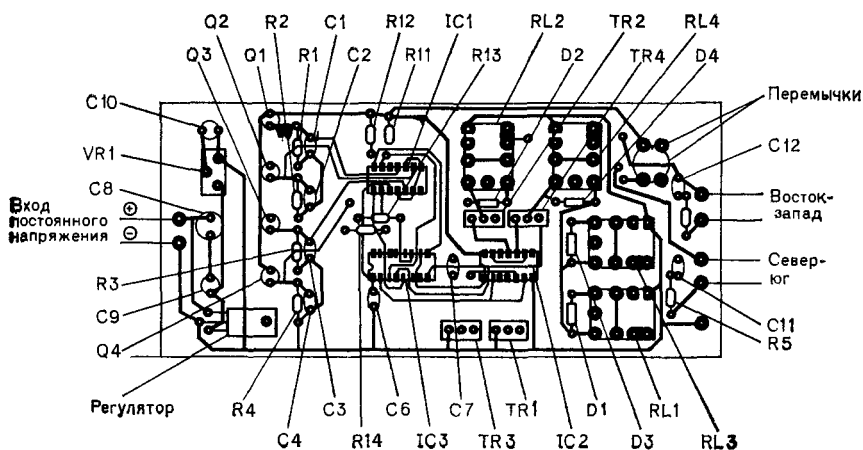


Рис. 6

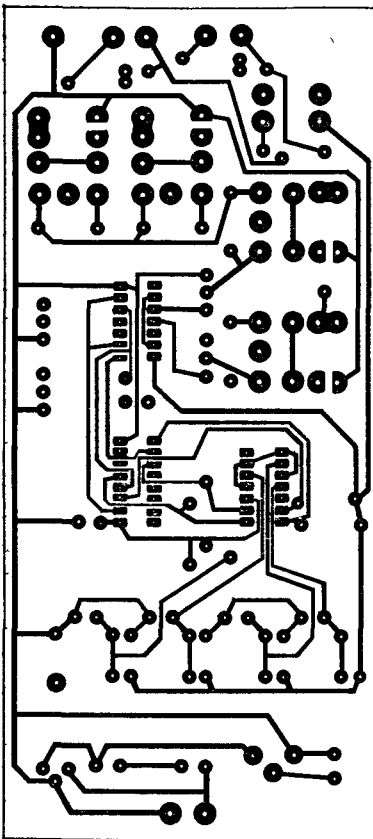


Рис. 7

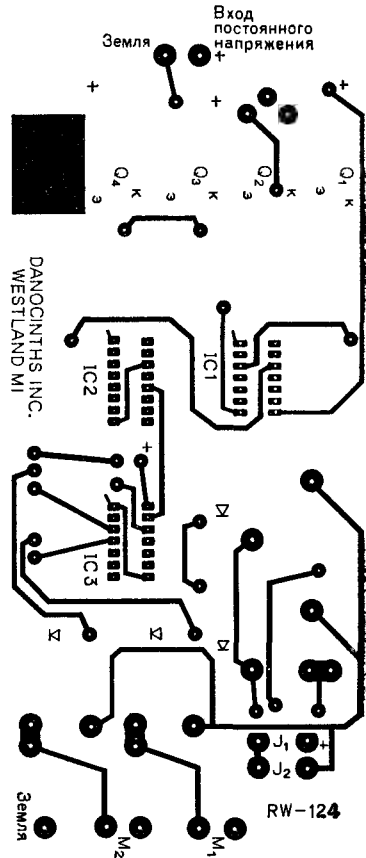


Рис. 8

Тем не менее ограничивающим фактором является *не тот* постоянно протекающий ток, который выдерживают контакты реле, а ток, который они могут *прерывать*! Поэтому для увеличения предельных коммутируемых токов две пары контактов включаются последовательно.

Известно, что при размыкании контактов возникает электрическая дуга. Она вызвана э. д. с. самоиндукции, возникающей при разрыве цепи питания электромотора. В цепи переменного тока дуга быстро пропадает при реверсировании направления электрического поля. Однако в цепи постоянного тока дуга может поддерживать себя достаточно долгое время. Предотвратить образование дуги можно увеличением *расстояния* между контактами и *скорости* их разъединения.

При последовательном соединении контактов реле суммарное расстояние между разомкнутыми контактами удваивается и увеличивается скорость их разъединения. Следовательно, реле может коммутировать нагрузку, превышающую паспортное значение.

Реле обычно поставляется вместе с соединительным разъемом, что очень полезно для согласования с моторами следящей системы, поскольку реле выпускаются на различные стандартные напряжения питания в диапазоне от 6 В постоянного или переменного тока до 120 В.

Я советую не припаивать реле непосредственно к плате, а соединять через разъемы, тогда можно подобрать реле с любым напряжением питания.

Для удобства шина питания реле изолирована от плюсового провода питания. Для подключения реле к «плюсу» источника питания просто припаяйте перемычку, как отмечено на схеме.

Если используются реле с напряжением питания более 60 В постоянного тока, необходимо подобрать полевые транзисторы, выдерживающие большие напряжения (они выпускаются на напряжение свыше 400 В). Не забудьте также заменить и диоды $D1 — D4$ на диоды, рассчитанные на большее напряжение, и *никогда* не используйте диоды с реле, питающимися от переменного тока.

Другая часть устройства, требующая особого внимания, — это эмиттерные резисторы $R1, R2, R3$ и $R4$. Маловероятно, что вы сможете найти четыре фототранзистора с настолько близкими характеристиками, что напряжения их эмиттеров совпадут при одинаковой освещенности. Для компенсации разброса параметров необходимо подобрать значения эмиттерных резисторов.

Номинал в 1 кОм — это лишь ориентировочное значение резисторов при наладке, и его необходимо подбирать более точно. Имейте в виду, что величина сопротивления может зависеть от температуры.

Проще всего подобрать величину сопротивления, заменив постоянный резистор переменным. Начните с величины сопротивления 1 кОм. При освещении чувствительной головки светом с различными уровнями интенсивности можно получать определенную таблицу значений напряжения.

Не пытайтесь заменить солнечное освещение светом лампы накаливания. Фототранзисторы чувствительны к *инфракрасному излучению* и по-разному реагируют на эти источники света.

Если при измерениях обнаружится, что один фототранзистор реагирует слишком быстро на изменение освещенности, уменьшите величину резистора. Однако при этом необходимо снизить сопротивление всех резисторов, чтобы сохранить нормальную работоспособность схемы. В конечном счете вы найдете значения, при которых компараторы по сигналам, поступающим от соответствующим

щих фототранзисторов, будут срабатывать при одинаковом уровне света.

Замерьте полученное значение сопротивления переменного резистора и замените его постоянным того же номинала.

Полезные рекомендации

Регулировкой *VR1* изменяют уровень срабатывания. Во многих случаях нет необходимости устанавливать этот порог слишком низким, иначе система слежения будет бесполезно расходовать энергию. Имея определенные элементы, вы, возможно, захотите подрегулировать уровень срабатывания схемы.

Хотя данная следящая система обладает самым широким углом обзора среди всех самоделок, описанных в этой книге, все же она может с наступлением ночи остановиться в неудобном положении. В этом случае возможна потеря нескольких утренних часов, пока система не начнет реагировать на возросший уровень освещенности.

Если это вам не нравится, сделайте так, чтобы следящая система возвращалась в нейтральное положение после того, как все реле обесточится. Эту задачу может решить простая логическая схема. Лучшее начальное положение — среднее, указывающее на полуденное небо.

Список деталей

Резисторы

R1, R2, R3, R4 — см. текст
R5, R6—10 Ом
R11, R12, R13, R14—10 кОм
VR1—50 кОм, переменное сопротивление

Конденсаторы

C1, C2, C3, C4—0,01 мкФ, дисковые
C5, C6, C7, C11, C12—0,1 мкФ, дисковые
C8—100 мкФ, 16 В
C9, C10—10 мкФ, 16 В

Полупроводники

D1, D2, D3, D4—1N4002
IC1—LM339
IC2—CD4049
IC3—CD4011
IC4—7812, стабилизатор напряжения
Q1, Q2, Q3, Q4—TIL414, фототранзисторы
TR1, TR2, TR3, TR4—IRF-511, МОП-транзисторы

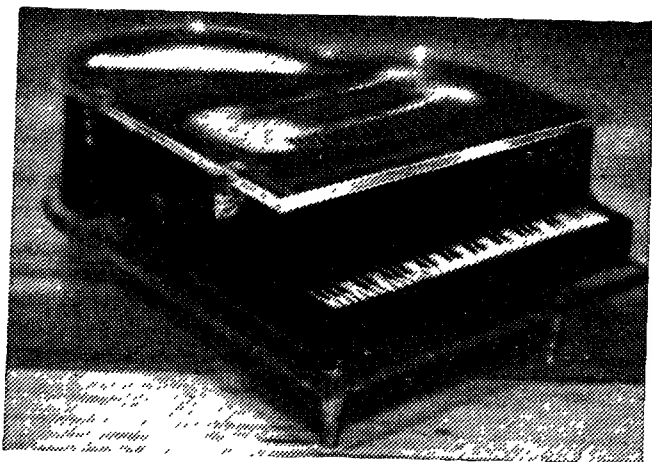
Остальные элементы

RL1, RL2, RL3, RL4 — реле фирмы
 Potter Brumfield, модель 1995 (Radio Shack 275-218)

Готовая печатная плата для гелиостата поставляется фирмой Dapocinths, Inc., P. O. Box 261, Westland MI 48185 за 22 долл. плюс 1,5 долл. за заказ и пересылку. Номер по каталогу RW124

МУЗЫКАЛЬНАЯ ШКАТУЛКА

Какая сила способна усмирить разъяренного зверя? Ну, конечно же, музыка! И нет ничего более чарующего и успокаивающего, чем чудесные звуки мелодии, льющиеся из музыкальной шкатулки. В течение веков эти мелодии завораживали мужчин, женщин и детей — всех без исключения.



В этой главе мы поговорим о современном варианте этого волшебного инструмента. И как все устройства в этой книге, он получает энергию от солнца.

Питание от солнца

Питание от солнца — не единственное уникальное свойство данной музыкальной шкатулки. В отличие от своих предшественников эта музыкальная шкатулка не содержит движущихся частей и целиком питается от кремниевых элементов.

Музыкальные шкатулки на солнечных элементах прошлого являлись лишь усовершенствованным вариантом своих старых механических собратьев.

В качестве выходного каскада используется простой усилитель мощности на двух транзисторах $Q1$ и $Q2$. Выходной сигнал микро-

схемы через резистор $R2$ управляет током базы транзистора $Q1$. С коллектора этого транзистора усиленный сигнал поступает на базу транзистора $Q2$, коллекторным током которого питается громкоговоритель сопротивлением 8 Ом.

Вас, наверное, удивило необычное включение транзисторов $Q1$ и $Q2$ в выходном каскаде. Оно используется из-за низкого напряжения питания схемы. Дело в том, что микросхема 7920 рассчитана на напряжение питания 1,5 В, которое легко можно получить от солнечных элементов. Но для большинства транзисторных схем такое напряжение обычно неприемлемо.

Для достижения большого усиления можно соединить транзисторы по схеме Дарлингтона, как это показано на рис. 2. Однако легко заметить, что при этом эмиттер-

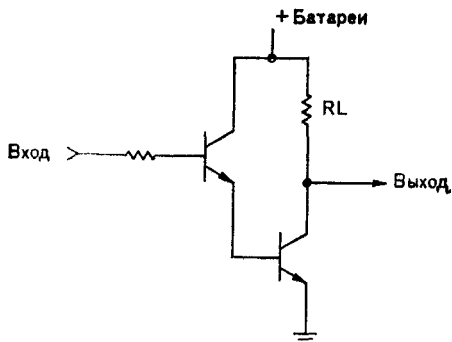


Рис. 2

ные переходы двух транзисторов соединены последовательно.

Из основ радиоэлектроники известно, что падение напряжения на кремниевом диоде, смещенном в прямом направлении, а именно им является в транзисторе переход база — эмиттер, составляет 0,7 В. Падение напряжения на двух эмиттерных переходах составит уже 1,4 В. Другими словами, для работы схемы из двух таких транзисторов потребуется напряжение смещения, составляющее по крайней мере 1,4 В.

При таком смещении усиление сигнала будет крайне мало, если питать каскад от источника в 1,5 В. Данного напряжения питания просто недостаточно. Для нормальной работы нашего усилительного каскада необходимо обеспечить питание хотя бы 2 В, а еще лучше 3 В.

Соединив транзисторы, как это показано на рис. 1, мы полностью разрешили проблему базового смещения. Изолировав в этой схеме два эмиттерных перехода друг от друга, мы используем для работы ток коллектора транзистора $Q1$. При питании такого каскада от источника напряжения 1,5 В требуемый размах входного сигнала может составить более 0,7 В.

Солнечная батарея

Источник питания на солнечных элементах для данной самоделки является одним из наиболее простых среди описанных в этой книге. Он включает в себя три соединенных последовательно сол-

нечных элемента. Это не готовая солнечная батарея, а просто любые три элемента.

Но не спешите. Прежде чем начать паять и соединять вместе первые подвернувшиеся под руку элементы, необходимо сначала понять некоторые факты, связанные со схемой. В среднем мощность, потребляемая музыкальной шкатулкой, очень мала. Средний потребляемый ток составляет около 30 мА. Однако в начале воспроизведения ноты наблюдаются значительные выбросы тока. В эти моменты ток потребления иногда достигает 90 мА.

Это сказывается на работе солнечных элементов и создает интересный музыкальный эффект.

Рассмотрим сначала само явление, а потом эффект, к которому оно приводит. Характерной чертой всех звуков, воспроизводимых музыкальными инструментами, является изменение амплитуды во время звучания. Оттяните, а затем опустите струну гитары или ударьте по клавише пианино. Обратите внимание на резкую атаку звука, которую вы услышите сначала, переходящую затем в затухающее колебание, которое музыканты называют установившимся. В этом-то все дело.

В первый момент, когда начинает звучать нота, создается очень острый пик энергии. Подражая реальным инструментам, микросхема 7920 генерирует такой звук электронным способом. В результате возникает короткий выброс тока, который, поступая на оконечный каскад, приводит транзистор Q2 почти в состояние насыщения. Это означает, что в течение короткого промежутка времени весь ток от солнечных элементов течет через нагрузочное сопротивление 8 Ом.

Но за это короткое время смещается рабочая точка на вольт-амперной характеристике солнечного элемента. В результате меняется не величина тока, вырабатываемого солнечными элементами (поскольку происходит самоограничение тока), а выходное напряжение. На короткое время выход солнечного генератора оказывается как бы закороченным и соответственно изменяется его выходное напряжение.

Ну а теперь позвольте сообщить вам, что синхрогенератор в микросхеме 7920 слабочувствителен к изменению напряжения. Поэтому падение напряжения в начале воспроизведения ноты приводит к кратковременному снижению частоты звучания.

Для борьбы с таким явлением приняты следующие меры. Во-первых, увеличены размеры солнечных элементов. Используя элементы заведомо большего (чем необходимо) размера, можно добиться снижения эффекта модуляции звука, однако скачки напряжения (хотя уже не такие значительные) все же останутся. И все же кое-какие неприятности доставляет непостоянство нагрузки солнечных элементов, величина которой изменяется практически от бесконечности (при отсутствии звука) до некоторого небольшого

значения (при воспроизведении ноты). Фактически суммарное изменение напряжения составляет в общей сложности около 0,5 В или более.

Во-вторых, для сглаживания этих небольших флуктуаций можно установить конденсатор С2 параллельно солнечной батарее. В тот момент, когда схеме требуется большой ток, конденсатор С2, разряжаясь, обеспечивает большую его часть. Во время паузы между нотами конденсатор С2 заряжается от солнечных элементов. При использовании этих двух схемных решений удастся более или менее стабилизировать напряжение питания микросхемы.

Конструкция

Музыкальный генератор размещен на печатной плате, размер которой позволяет разместить все устройство в небольшом объеме, например в коробочке из-под серег или запонок. Рисунок печатной платы приведен на рис. 3, а размещение элементов на ней — на рис. 4.

При монтаже обратите внимание, что конденсатор С2 расположен для экономии места *не сверху*, а со стороны печатных проводников. Громкоговоритель, в качестве которого используется многогабаритный 8-омный динамик от транзисторного приемника, не следует располагать слишком близко к печатной плате. Наилучшая имитация звучания музыкальной шкатулки получается при ис-

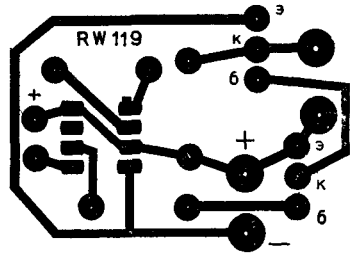


Рис. 3

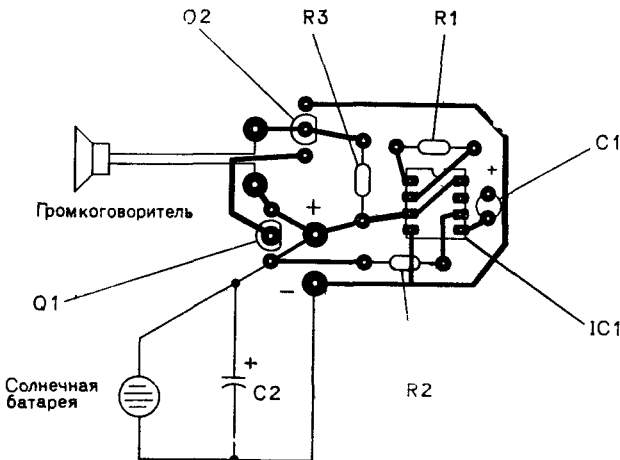


Рис. 4

пользовании динамической головки с жестким диффузором из пластмассы или металла.

При желании вы можете приобрести полный комплект деталей для изготовления музыкальной шкатулки, включая громкоговоритель, от фирмы Klockit, P. O. Box 629, Lake Geneva, WI 53147. Закажите набор № S-90 (с мелодией песен «Если ты любишь меня» и «Вчера») или S-91 («Я мальчик-колокольчик из города Динь-Динь»). Если вы будете собирать музыкальную шкатулку сами, то не забудьте, что в продаже имеется готовая печатная плата (см. список деталей).

Музыкальная шкатулка

Теперь пришло время придать музыкальной шкатулке надлежащий внешний вид. Подумайте над этим, и вам в голову обязательно придут различные варианты. В качестве корпуса подойдет и шкатулка для ювелирных изделий, размеры которой могут быть самыми разнообразными, а также коробка для монет или даже терариум. Возможности здесь ограничиваются лишь вашим воображением. Имейте в виду, что наша музыкальная шкатулка практически вечна, поэтому она может найти самое различное применение в отличие от своих несовершенных механических предшественников.

Лично я выбрал шкатулку для ювелирных изделий с откидывающейся крышкой, имеющую форму фортепьяно. Мне кажется, что форма фортепьяно очень точно соответствует назначению музыкальной шкатулки. Какой бы корпус вы ни выбрали, убедитесь, что у него есть открытый верх или имеется достаточно прозрачное окно в крышке для установки солнечных элементов.

Соедините солнечные элементы последовательно и приклейте их к внутренней стороне крышки. Для этой цели предпочтительнее резиновый клей, однако подойдет и любой другой прозрачный клей. Если солнечная батарея располагается на подвижной части шкатулки (на откидывающейся крышке), протяните подводящие проводники так, чтобы их перемещение было минимальным. В этом случае можно использовать гибкий провод.

Электронную часть схемы можно разместить в любом подходящем месте. Однако это замечание не относится к громкоговорителю. При его размещении внутри закрытой коробки диффузор должен сообщаться с внешним пространством, иначе вы ничего не услышите. В этом случае в корпусе коробки просверлите несколько сквозных отверстий против динамика.

Для проверки вашей новой игрушки поместите ее под мощную лампу или выставьте на солнце. И тут же помещение наполнится волшебными звуками музыки.

Список деталей

Резисторы

R1—1,2 МОм

R2—220 кОм

R3—470 Ом

Конденсаторы

C1—0,47 мкФ

C2—220 мкФ, 6 В

Полупроводники

IC1—7920, музыкальная микросхе-

ма

Q1—ECG159

Q2—ECG123 AP

Остальные элементы

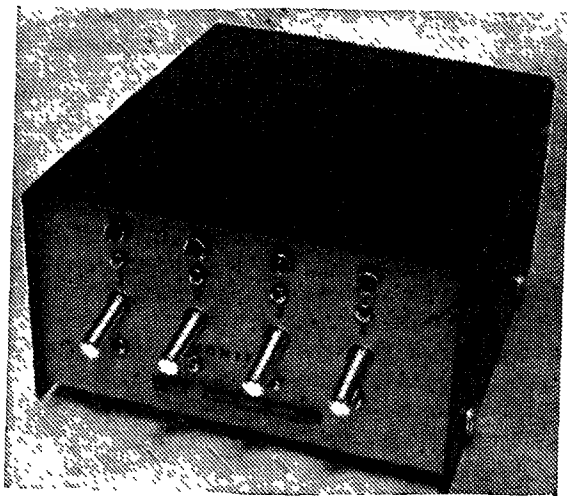
3 солнечных элемента (см. текст)
8-омный динамик

Готовая печатная плата с высверленными отверстиями для музыкальной шкатулки поставляется фирмой Danocinths Inc., P. O. Box 261, Westland, MI 48185 за 4,5 долл. плюс 1,5 долл. за заказ и пересылку. Номер по каталогу RW119

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ

Существует мнение, что солнечные батареи смогут когда-нибудь существенно дополнить и даже вытеснить традиционные источники энергии. Тогда настанет время реальной проверки возможностей солнечных элементов.

В данной главе мы немного заглянем в будущее и проверим способность фотоэлектричества приносить реальную пользу. Больше никаких сувениров, никаких игрушек, только скромная, обыкновенная работа.



В этой главе читатель ожидает узнать, как солнечная энергия будет помогать нам в ежедневной домашней работе, включающей в себя приведение в действие мощной пилы, комнатного освещения, подачу электроэнергии на различные устройства развлечения и многое другое. Таково будущее солнечной энергетики.

Однако подробности подобных систем в этой книге описаны не будут. Вместо этого будет показано, как можно осуществить управление уже готовой фотоэлектрической системой. Этой цели служит блок управления мощностью.

Блок управления мощностью

Данный блок предназначен для полного контроля ресурса солнечных батарей. С пульта этого блока можно легко осуществлять управление электроснабжением до четырех потребителей энергии. Кроме того, для защиты каждого потребителя имеется плавкий предохранитель.

Но это еще не все. Поскольку работоспособность системы безусловно зависит от степени заряженности свинцово-кислотных батарей, в данное устройство непосредственно встроен блок контроля состояния батареи. Взглянув на пульт управления, можно сразу оценить рабочее состояние источника энергии. И если оно неудовлетворительно, запас энергии достигает опасного уровня, подается предупреждающий сигнал (зуммер).

Чего еще можно желать от контрольно-управляющего устройства?

Контрольно-управляющее устройство распределения мощности

Основная задача блока управления мощностью заключается в распределении фотоэлектрической энергии между различными частями системы. Он также предназначен для сохранения энергии про запас.

Рассмотрим, например, работу преобразователя напряжения, который преобразует постоянное напряжение 12 В, генерируемое солнечными батареями, в переменное напряжение 110 В. Такое напряжение необходимо для работы определенных устройств, например электропилы.

Но преобразователь напряжения потребляет энергию постоянно, даже когда к нему не подключено никакой нагрузки. При этом бесполезно расходуется энергия, которую можно было бы потратить с большей пользой. Следовательно, в блоке управления мощностью необходимо предусмотреть тумблер для отключения инвертора.

В этом блоке предусмотрена возможность отключения любой нагрузки, которая снабжена своим тумблером. Чтобы отключить любую нагрузку от источника энергии, достаточно просто «щелкнуть» выключателем.

Рассматривая рис. 1, можно обнаружить, что блок имеет четыре отдельные схемы, каждая из которых снабжена тумблером, установленным на лицевой панели. Над каждым тумблером имеется небольшая СД. Когда схема запитана, светится соответствующий СД, информируя о том, что энергия подводится к выбранной нагрузке.

Однако контроля за подводом энергии к нагрузке недостаточно. В целях безопасности необходимо следить за силой тока в цепи.

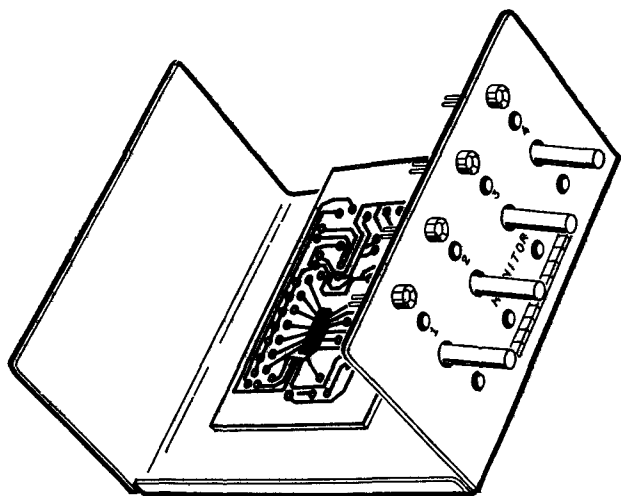


Рис. 1

Именно поэтому в качестве выключателей используются не обычные тумблеры, а специальные прерыватели. В отличие от обычных прерывателей, которые быстро изнашиваются при использовании их в качестве выключателей, эти прерыватели предназначены для работы в качестве как ограничителя, так и в качестве выключателя.

Устройство контроля напряжения и степени заряженности аккумуляторных батарей

Блок управления содержит устройство контроля напряжения, который указывает на состояние (степень заряженности) батарей.

Как было показано в гл. 6, напряжение свинцово-кислотной батареи аккумуляторов зависит от заряда, хранящегося в ее элементах. Наглядно это видно из рис. 2, на котором показана зависимость между напряжением и степенью заряженности батарей. Из зависимости следует, что полностью заряженная батарея имеет напряжение 13,2 В, а полностью разряженная — 10,5 В. Для определения степени заряженности аккумуляторных элементов необходимо измерить напряжение на батарее и сравнить его со значением на рис. 2.

Это и делает устройство контроля заряженности батарей. Однако в нем вместо измерительного прибора для индикации напряжения используется световая полоска. Напряжение контролируемой батареи высвечивается 10 светодиодами. Шкала считывания построена так, что каждый последующий диод загорается при уве-

личении напряжения на 0,5 В. Если горит первый диод, напряжение составляет 10,5 В, если второй — 11 В, если третий — 11,5 В и т. д. вплоть до 15 В.

Блок индикации выполнен на отдельной интегральной микросхеме LM3914. Внутри ее имеется ряд компараторов, сравнивающих

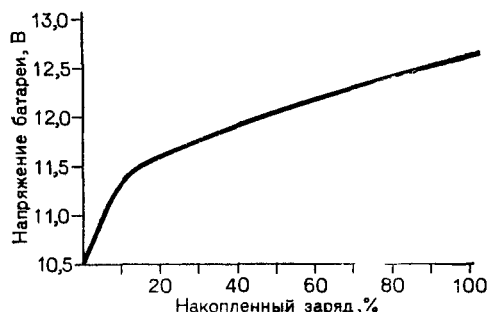


Рис. 2

входное напряжение с опорным напряжением источника и включающих лампочку, соответствующую соотношению упомянутых напряжений.

Принцип работы схемы индикации ясен из рис. 3. Резисторы $R1$, $R2$, $R3$ образуют делитель напряжения, который позволяет снизить входное напряжение 12 В (от батарей) до 2,5 В, необходи-

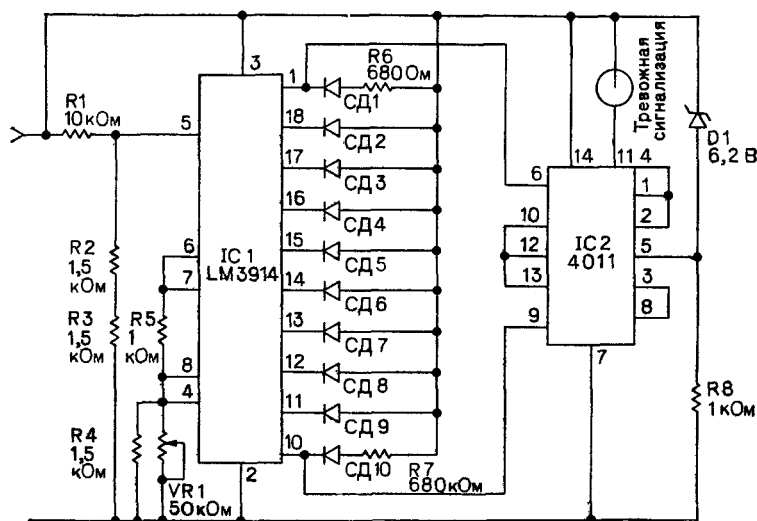


Рис. 3

мых для работы микросхемы IC1. Масштаб преобразования напряжения микросхемой IC1 устанавливается переменным резистором VR1. Теперь входное напряжение от батареи поступает на компараторы внутри IC1, которые выносят решение относительно его истинного значения. Это значение затем индицируется одним из 10 светодиодов.

Таблица 1. Информация, отображаемая светодиодами

Свето диод	Напряжение В	Цвет свечения	Комментарии
СД1	10,5—11,0	Красный	Батарея разряжена; не допускать разряда за пределы этого значения
СД2	11,0—11,5	Желтый	Внимание в батарее осталось менее 10% заряда
СД3	11,5—12,0	»	В батарее осталось менее 40% заряда
СД4	12,0—12,5	Зеленый	Степень заряженности батареи 50—90%
СД5	12,5—13,0	»	Батарея может быть заряжена недостаточно
СД6	13,0—13,5	»	Батарея полностью заряжена, степень заряженности 100%
СД7	13,5—14,0	»	Батарея достаточно заряжена
СД8	14,0—14,5	»	Батарея достаточно заряжена
СД9	14,5—15,0	»	Батарея заряжена максимально
СД10	15,0—15,5	Красный	Зарядное напряжение слишком велико; в обычных условиях могут возникнуть проблемы

Состояние батареи отображается двояко с помощью цветокодирования светодиодов. Например, 13-вольтовый диод имеет зеленый цвет. Считается, что батарея с напряжением 12—14 В работоспособна, следовательно, диод имеет зеленый цвет.

Однако если напряжение батареи снижается до 11,5 В, а затем до 11 В, то заряд истощается. Эти диоды имеют желтый цвет, индицирующий наличие проблемы, с которой можно столкнуться в дальнейшем.

Последний 10,5-вольтовый диод имеет красный цвет. Если напряжение аккумуляторной батареи упало до этого уровня, то в ней мало (или вообще не имеется) запасенной энергии. Простого взгляда достаточно, чтобы узнать не только точное значение напряжения батареи, но и ее зарядовое состояние (по изменению цвета) В табл. 1 приводится список светодиодов с указанием их цвета и отображаемой ими информации.

Устройство контроля заряда аккумуляторной батареи

Устройство контроля напряжения батареи позволяет также проверить состояние цепи заряда. В нормальных условиях зарядное напряжение не должно превышать 15,5 В, иначе батарея может выйти из строя.

Поэтому для устройства 15-вольтового индикатора зарезервирован красный свет. Когда он загорается, это не обязательно означает, что что-то произошло, просто *по какой-то причине* зарядное напряжение чрезмерно велико.

Тревожная сигнализация

И это не все! Знаете ли вы о том, что, допуская заряд батареи ниже 10,5 В, можно повредить ее. Произойдет сульфатация пластин, и крайне важно, чтобы этого не случилось.

В схему введена сигнализация. Если по какой-либо причине напряжение в системе упадет ниже 10,5 В, зазвучит сигнал тревоги. Я подключил к сигнализации также 15-вольтовый вывод индикатора, чтобы сигнал подавался и в случае перезаряда батареи.

Управление сигналом осуществляется двумя логическими элементами микросхемы IC2. Питание на микросхему подается с диода D1

Конструкция

Устройство контроля напряжения батареи выполнено с применением печатного монтажа. Рисунок печатной платы представлен на рис. 4. Не забудьте о том, что в списке деталей приведен адрес поставщика готовой печатной платы для этого устройства.

Элементы схемы размещаются согласно рис. 5. Припаивая радиодетали, обратите внимание на следующие моменты.

Во-первых, на присоединение светодиодов. Необходимо соблюдать полярность, не всегда легко определить, какой вывод диода является анодом, а какой — катодом. Если подключить светодиоды в обратной полярности, они не будут светиться. Необходимо также перед пайкой обратить внимание на соответствие цвета свечения светодиодов и не укорачивать их выводов.

Во-вторых, на соблюдение полярности включения микросхемы IC1, поскольку ошибочное включение приведет к выходу ее из строя. Микросхема — это чип КМОП-структуры, который весьма чувствителен к электростатическому заряду, поэтому необходимо обратить внимание и на этот момент.

Автоматические прерыватели размещаются на лицевой панели алюминиевого корпуса. Для прерывателей, упомянутых в списке деталей, необходимы отверстия диаметром 10 мм.

Необходимо выбрать прерыватели для системы, которые постоянно пропускают необходимый ток, но срабатывают при перегрузке. Нельзя использовать прерыватели со слишком большим порогом срабатывания.

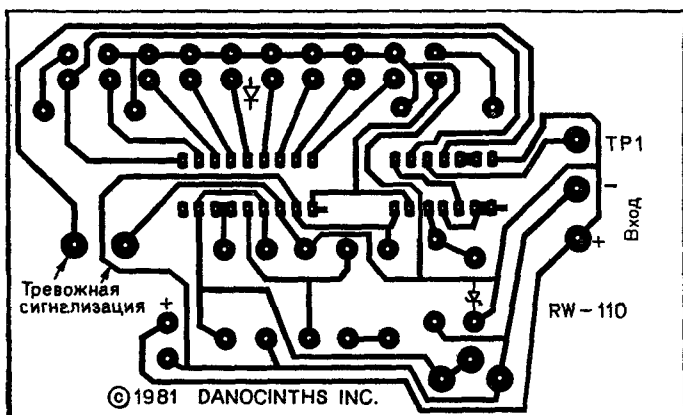


Рис. 4

Светодиоды размещаются точно над прерывателями. Под их хромированный корпус-держатель высверливаются отверстия диаметром 6 мм. Монтажная схема всего блока управления мощностью приведена на рис. 6.

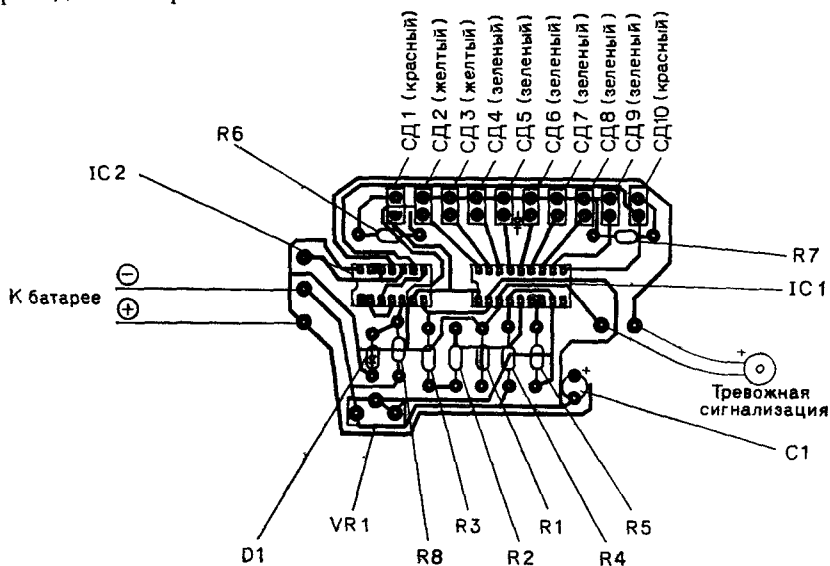


Рис. 5

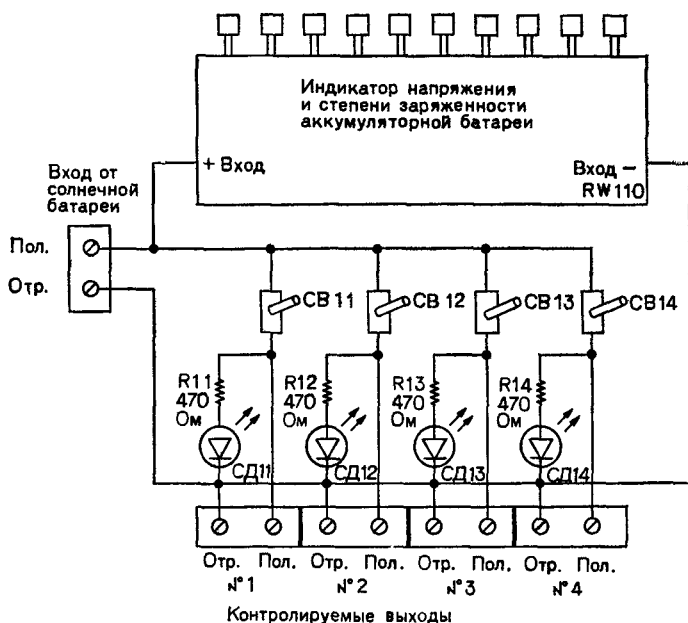


Рис. 6

Последовательно с четырьмя светодиодами включены резисторы. Их просто припаивают между катодами светодиодов и отключаемыми выводами прерывателей.

Для присоединения внешних устройств на задней стенке корпуса размещается переходная колодка. К внешним устройствам относятся солнечная батарея и коммутируемые приборы. Необходимо убедиться в том, что в цепях электропитания используется провод достаточного диаметра. Проводники, идущие к устройству контроля напряжения батареи, могут быть меньшего диаметра.

Устройство контроля напряжения батареи размещается под прерывателем. Печатная плата крепится на пластмассовых стойках параллельно дну корпуса.

Выводы светодиодов сгибаются так, чтобы светодиоды выступали за край платы, находясь в одной плоскости. Затем светодиоды выдвигают из щели, прорезанной под прерывателями.

Если имеется желание, сделаем надписи под выключателями, можно использовать для этой цели переводной шрифт.

Проверка и настройка

Проверить устройство достаточно просто, необходимо лишь присоединить ко входу 12-вольтовую батарею. Для проверки подключать больше ничего не надо.

Нажмите на прерыватель и проконтролируйте срабатывание по светодиоду. Светодиод должен светиться при включенном прерывателе и гаснуть при отключенном.

Устройство контроля напряжения батареи необходимо предварительно откалибровать. Подключив вольтметр ко входу батареи, необходимо измерить ее напряжение. Затем, вращая переменный резистор *VR1*, добиваются свечения светодиода, соответствующего измеренному напряжению. На этом калибровка заканчивается

Список деталей

Резисторы

R1—10 кОм
R2, *R3*, *R4*—1,5 кОм
R5, *R8*—1 кОм
R6, *R7*—680 Ом
R11, *R12*, *R13*, *R14*—470 Ом

Конденсатор

C1—220 мкФ, 16 В

Полупроводники

D1—1N4735
IC1—LM3914
IC2—CD4011
CD1, 10 — красные (Radio Shack 276-070)
CD2, 3 — желтые (Radio Shack 276-072)
CD4—9 — зеленые (Radio Shack 276-071)
CD11—14 — Желтые СД с держателями (Radio Shack 276-073)

Остальные элементы

Лицевая панель
 Корпус (Radio Shack 270-274)
CB11-14, автоматические выключатели (Potter & Brumfield, Модель 112)
 Пьезодинамик (Radio Shack 273-066)
VR1 — 50 кОм, переменный резистор

Готовая печатная плата с высверленными отверстиями поставляется фирмой Dapocinths, Inc., P. O. Box 261, Westland, MI 48185 за 10,5 долл. плюс 1,5 долл за заказ и доставку. Номер по каталогу RW110

ПРИНЦИП РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Хотя многие из нас этого не подозревают, способ получения электроэнергии из солнечного света известен более 100 лет. Явление фотоэлектричества впервые наблюдал Эдмон Беккерель в 1839 г. В одном из своих многочисленных опытов с электричеством он поместил две металлические пластины в проводящий раствор и осветил установку солнечным светом. К своему величайшему изумлению, он обнаружил, что при этом вырабатывается электродвижущая сила (ЭДС).

Это случайное открытие оставалось незамеченным вплоть до 1873 г., когда Уиллоуби Смит обнаружил подобный эффект при облучении светом селеновой пластины. И хотя его первые опыты были несовершенны, они знаменовали собой начало истории полупроводниковых солнечных элементов.

В поисках новых источников энергии в лаборатории Белла был изобретен кремниевый солнечный элемент, который стал предшественником современных фотоэлектрических преобразователей.

Лишь в начале 50-х гг. солнечный элемент достиг относительно высокой степени совершенства

Основы теории полупроводников

Основным полупроводниковым материалом в современной электронике является кремний. Большинство современных солнечных элементов также изготавливается из кремния.

Полупроводник — это вещество, которое нельзя назвать ни хорошим проводником, ни хорошим изолятором. Например, медь — прекрасный проводник, область ее применения очень широка. Везде, где требуется передать электрическую энергию из одного места в другое, медь — незаменимый помощник. То же можно сказать и об алюминии.

С другой стороны, стекло имеет ничтожную электропроводность, но является хорошим диэлектриком. Если вам понадобится преградить путь электрическому току, эту задачу с успехом решит стеклянный изолятор. Кстати, изоляторы полюсных наконечников и первых телефонах изготавливались из стекла.

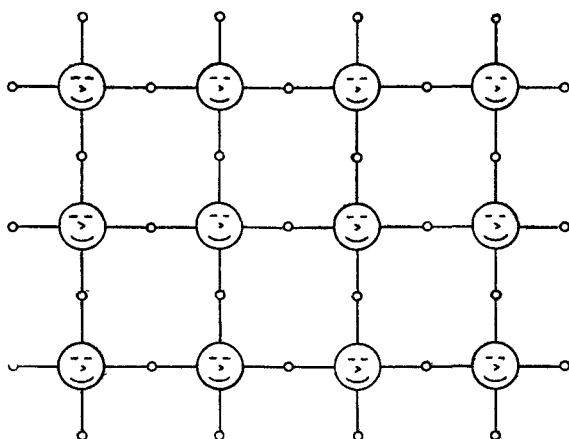


Рис. 1

Электропроводность полупроводников заключена между этими двумя предельными случаями. В некоторых случаях применения полупроводники могут служить как проводники, в ряде других — как изоляторы. Однако чистый кремний все-таки ближе к изоляторам и очень плохо проводит электрический ток. Причина этого объясняется особенностью его кристаллической структуры.

Атомы кремния связаны между собой с помощью так называемых *валентных* электронов. Лучше всего представить эти связи в виде «рук». Каждый атом кремния имеет четыре «руки».

Атомы кремния весьма «общительны», они не любят одиночества. Поэтому стараются держаться «за руки» с окружающими их атомами.

Поскольку каждый атом имеет четыре «руки», которыми он берет за «руки» соседей, все вместе они образуют решетку, показанную на рис. 1. В результате все четыре «руки» атома оказываются занятыми. Следовательно, в такой структуре нет свободных электронов («рук»). А без свободных электронов вряд ли возможен электрический ток.

Для нужд электроники такое положение дел неприемлемо. Чтобы протекать ток, в составе кристалла необходимо иметь свободные электроны. Это достигается введением примесей в исходное вещество. Подобный процесс называется *легированием*.

Легирование полупроводника

Предположим, что мы взяли и заменили в нашей кристаллической структуре один атом кремния на атом, имеющий валентность, равную пяти (другими словами, имеющий пять «рук»). Например,

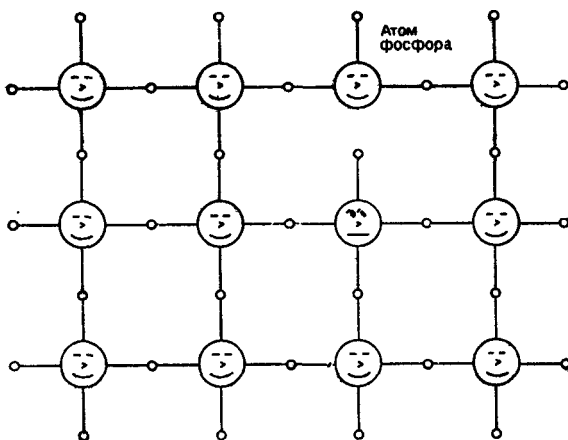


Рис. 2

таким атомом является атом бора¹⁾. Оказавшись среди своих «новых соседей» и взявшись с ними «за руки», этот атом вскоре обнаружит, что одна «рука» у него свободна.

Эта ни с кем не связанная «рука» есть не что иное, как свободный электрон. Так как атом бора более или менее удовлетворен тем, что четыре из пяти «его рук» — электронов заняты, его не особенно беспокоит судьба пятой. При малейшем возмущении электрон «оторвется».

Такова суть легирования. Чем больше примесей мы введем в кристалл, тем больше в нем будет свободных электронов и тем лучше кремний будет проводить электрический ток.

При легировании может происходить и обратный процесс. Если атом кремния заменить трехвалентным атомом, например фосфором, в нашей структуре появится так называемая дырка. Следовательно, в кристалле наблюдается недостаток электронов и он с готовностью примет их в свою решетку.

Вследствие того, что в такой структуре атомы пытаются захватить электроны, образующиеся дырки будут перемещаться по структуре, испытывающей недостаток электронов. На самом же деле электроны движутся от дырки к дырке и, таким образом, проводят электрический ток.

¹⁾ Автор ошибается — в качестве донора (источника свободных электронов) используются атомы фосфора, имеющие валентность, равную пяти, а в качестве акцепторов, позволяющих ввести в кристалл кремния положительные заряды (дырки), применяются атомы бора, для которых характерна валентность, равная трем.— *Прим. ред.*

Изготовление солнечного элемента

Теперь можно подумать, что если взять легированный кристалл кремния с недостатком электронов и легированный кристалл с избытком электронов и соединить их вместе, то что-то должно произойти.

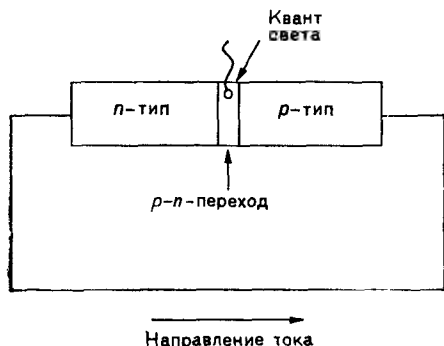


Рис. 3

При тесном механическом контакте двух кристаллов атомы в приповерхностных областях сближаются настолько, что атомы фосфора легко отдают свои лишние электроны, а атомы бора с готовностью их принимают.

В результате восстанавливается электрическое равновесие кристалла. Но вспомните, что кристаллы имеют очень жесткую структуру, поэтому обмен произойдет только между атомами, находящимися в самом тесном контакте друг с другом. Толщина области этого контакта не превышает размеров нескольких атомов, а объем полупроводника остается без изменений.

Конечно, чтобы получить такой эффект, требуется несколько большее, чем простое соединение двух кусков кремния вместе. Чаще всего кремний легируют, используя процесс высокотемпературной диффузии. В результате на границе между областями в глубине полупроводника, легированными разными примесями, образуется сверхтонкая область раздела, называемая $p-n$ -переходом.

Именно внутри этой области происходит преобразование света в электричество.

Когда частица света, называемая фотоном, с достаточной энергией ударяется в $p-n$ -переход¹⁾, она выбивает электрон, делая

¹⁾ Этот процесс, называемый фотоионизацией, происходит не только в области $p-n$ -перехода, но и в любой другой части кристалла, в которую проникает солнечный свет, имеющий достаточно большую энергию, необходимую для создания свободных носителей заряда — электрона и дырки. — Прим. ред.

его свободным, т. е. способным к перемещению. Энергия фотона при этом передается электрону. При этом в решетке кристалла образуется дырка. Необходимо иметь в виду, что область перехода стремится сохранить равновесие.

Вследствие того что в материале n -типа существует недостаток дырок, а в материале p -типа — недостаток электронов, дырка и электрон разделяются и мигрируют в разных направлениях.

Но теперь равновесие нарушено. Электрон, получивший энергию фотона, стремится вновь соединиться со своим антиподом (дыркой) и готов потратить на это свою энергию. К сожалению, $p-n$ переход представляет собой потенциальный барьер, который электрон не может преодолеть.

Однако если мы соединим области с проводимостями p - и n -типов между собой проводником, то это препятствие будет успешно преодолено и электрон «проберется» к своей дырке через «черный ход». При этом электрон расходует по пути свою энергию, которую мы используем.

Характеристики солнечного элемента

$p-n$ Переход представляет собой внушительную преграду для движения электронов. Но ее нельзя назвать непреодолимой. Энергии, которую электрон получает от фотона, обычно недостаточно, чтобы он мог преодолеть этот барьер и соединиться с дыркой, но так бывает не всегда.

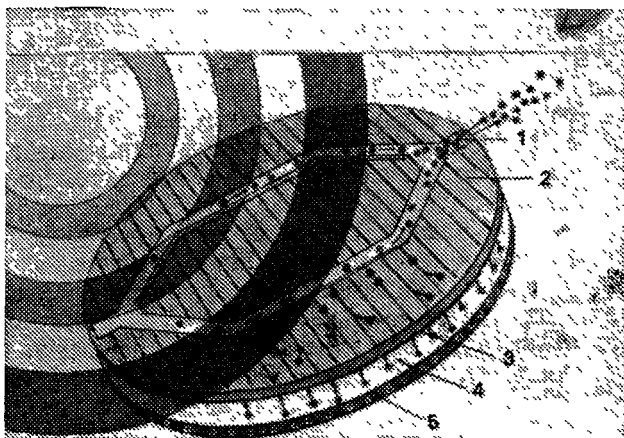


Рис. 4

1 — верхняя токосъемная решетка; 2 — диффузионный слой n -типа; 3 — $p-n$ переход; 4 — базовый слой p типа; 5 — нижний контакт.

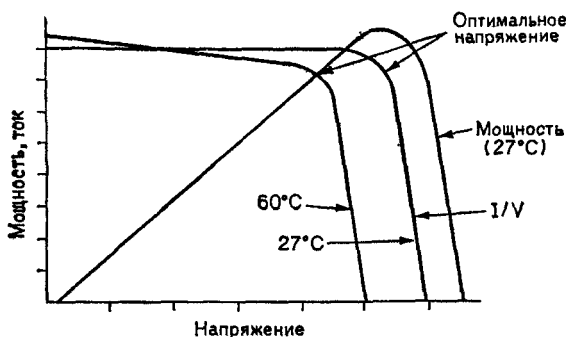


Рис. 5

Высота потенциального барьера $p-n$ -перехода составляет около 600 мВ (0,6 В). Электроны с энергией более 600 мВ могут «подняться» на эту стену и поглотиться. Следовательно, максимальное напряжение, которое может развить солнечный элемент, составляет 600 мВ. Однако фактическое значение зависит от типа полупроводникового материала и конструкции солнечного элемента.

Подключение нагрузки к солнечному элементу снижает энергию некоторых электронов, включая и более энергичные среди них. В результате снижается суммарное напряжение солнечного элемента и число электронов, способных преодолеть барьер $p-n$ -перехода.

При увеличении сопротивления нагрузки через нее будет «откачиваться» все большее число электронов, а напряжение еще больше уменьшится. Однако в некоторый момент происходит странная вещь. При напряжении 450 мВ (0,45 В) ток (поток электронов) перестает расти даже несмотря на то, что напряжение продолжает уменьшаться. Достигается «плато» тока.

Это явление связано с конечным числом фотонов, падающих на $p-n$ -переход¹⁾. Известно, что, чем больше фотонов достигают $p-n$ -перехода, тем больше высвобождается электронов. Больше фотонов — больше ток.

Однако наступает момент, когда используется буквально каждый попавший в $p-n$ -переход фотон и число свободных электронов, а следовательно, и ток больше не увеличиваются. Это соответствует появлению «плато» на характеристике солнечного элемента.

Конечно, число свободных электронов зависит еще от площади поверхности и интенсивности света. Очевидно, что с увеличением площади элемента захватывается больше фотонов и увеличивается

¹⁾ Точнее — попадающих в объем кристалла, отделенный от $p-n$ -перехода расстоянием, не превышающим диффузионной длины свободных носителей заряда. — Прим. ред.

ток. Подобным образом с увеличением интенсивности света возрастает концентрация фотонов при данной площади, что также увеличивает силу тока.

Коэффициент полезного действия солнечного элемента

Обычно среднюю интенсивность солнечного света, достигающего поверхности земли, принимают равной 100 мВт/см^2 . Иными словами, солнечный элемент размером $10 \times 10 \text{ см}^2$ теоретически должен генерировать 10 Вт мощности.

К сожалению, ни один солнечный элемент не может и даже не будет генерировать такой мощности: всегда будут иметь место потери. Наибольшая эффективность (коэффициент полезного действия), достигнутая до сих пор (да и то с каскадными фотоэлементами в экспериментальной лаборатории), составляет около 30%. К. п. д. обычного кремниевого солнечного элемента колеблется в пределах 10—13%. Элемент площадью 100 см^2 может генерировать около 1 Вт мощности.

Конечно, к. п. д. солнечного элемента зависит от многих факторов, среди которых наиболее значительным является изменение температуры окружающей среды. С увеличением температуры решетка кристалла возбуждается и ее атомы колеблются более интенсивно. Это в свою очередь приводит к повышению энергетического уровня электронов внутри структуры. Со временем, когда энергетический уровень электронов повышается настолько, что большая их часть способна преодолеть потенциальный барьер $p - n$ -перехода, в полупроводнике резко возрастает рекомбинация. Это приводит к уменьшению числа электронов, достигающих сеточных коллекторов, и электрический ток в нагрузке уменьшается¹⁾. С другой стороны, низкая температура способствует фактическому усилению фотоэффекта.

¹⁾ Основной причиной уменьшения к. п. д. солнечных элементов с увеличением температуры является снижение величины потенциального барьера $p - n$ -перехода, что приводит к падению напряжения, генерируемого элементом. — *Прим. ред.*

Приложение

СПИСОК ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АНАЛОГОВ ЗАРУБЕЖНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И МИКРОСХЕМ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В КНИГЕ

Приведенные замены зачастую не являются точными аналогами, а лишь рекомендуются для использования при повторении конструкций, приведенных в данной книге.

Диоды

1N34A ДЗ10, ДЗ11
1N4001 Д226
1N4002 КД212
1N4735 КС462, КС162
1N5400 КД202
1N914 КД521А

Транзисторы

ECG-187 ГТ906А
FPT-100 фототранзистор
IRF-511 КП904
TIL 414 фототранзистор
2N2222 КТ3117А, КТ315
2N3904 КТ815

Микросхемы

LM1458 К544УД2
LM339 К140УД12
LM741 К140УД7
LM7812 К142ЕН8
CD4001 К176ЛА7
CD4011 К176ЛА7
CD4049 К176ЛН2
CD4050 К564ЛА10

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Ваши замечания о содержании книги, ее оформлении, качестве перевода и другие просим присылать по адресу: 129820, Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., д. 2, изд-во «Мир».

Для самостоятельного технического творчества

Т. Байерс

20 КОНСТРУКЦИЙ С СОЛНЕЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Старший научный редактор В. С. Соболев

Младший редактор М. Ю. Григоренко

Технический редактор Л. В. Козлова

Корректор В. И. Киселева

ИБ № 6181

Сдано в набор 23.02.87. Подписано к печати 02.09.87. Формат 60×90^{1/16}. Бумага кн.-журнальная. Печать высокая. Гарнитура литературная. Объем 6,25 бум. л. Усл. печ. л. 12,50. Усл. кр.-отт. 12,89. Уч.-изд. л. 11,39. Изд. № 6/5214. Тираж 75 000 экз. Зак. 947 Цена 60 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР». 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2

Набрано и сматрицировано в ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первой Образцовой типографии» имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113054, Москва, Валовая, 28

Отпечатано в Ленинградской типографии № 2 головном предприятии ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29.